



Facultad de Ingeniería

Trabajo de Investigación

**“Diseño y Desarrollo de una Nariz
Electrónica Estacionaria a bajo costo
para la Identificación de Fuentes
Contaminantes”**

Autores

Angel Eduardo Alvarez Rodríguez – 1523675

José Miguel Chura Agruta – 1523674

Para obtener el Grado de Bachiller en:
Ingeniería Mecatrónica

Lima, Julio 2019

RESUMEN

El diseño de una nariz electrónica ofrece muchas opciones de aplicación, tanto en la industria como en la medicina. En el presente proyecto de investigación se brinda ayuda en el monitoreo de la contaminación ambiental en ambientes cerrados, debido a la sobre exposición a gases nocivos como son, el monóxido y dióxido de carbono; con un enfoque directo en hogares, oficinas o ambientes laborales, se presenta una solución de bajo costo que permita la adquisición a familias de bajos recursos, quienes son las más afectadas; el diseño hace uso de sensores de gases de la familia MQ, un sistema de lazo cerrado para la optimización de la toma de datos y una alerta visual y sonora de respuesta inmediata para la fácil identificación del nivel de contaminación, usando bocinas e indicadores luminosos que cambian de color según el estado de contaminación; todo este sistema electrónico está programado en lenguaje C para microcontroladores PIC. El uso de una cámara cerrada para el sensado ayuda en la fiabilidad de la muestra, la rápida interpretación y respuesta, genera que el usuario toma precauciones con respecto a la contaminación del ambiente en donde se encuentra.

DEDICATORIA

A mi esposa Maribel, mi idónea perfecta, quien estuvo desde el inicio y siempre me alienta a no rendirme, a seguir adelante; a mi pequeña hija Annie, para que pueda superar mis logros; a mis padres, quienes iniciaron e impulsaron mis sueños; a mi familia y amigos, por aportar con un poco de su tiempo y compañía para mí.

A. A. R.

A mi esposa, familia y amigos quienes siempre estuvieron a mi lado durante todo el periodo de formación académica, al ingeniero Elmo quien supo transmitir los conocimientos esenciales para poder seguir adelante.

M. Ch. A.

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque tengo la certeza que está con migo en todo momento; a mis compañeros, que brindaron de sus conocimientos para enriquecer los míos; a cada docente, por cuya aula pasé, pues con paciencia y amor a la carrera, supieron guiarme y enseñarme.

A. A. R.

En primer lugar a Dios por poner en mi camino a personas maravillosas, por su apoyo incondicional, a todo el equipo de docentes de la facultad de ingeniería, por su paciencia y esmero.

M. Ch. A.

ÍNDICE

INTRODUCCION	xii
CAPITULO 1	
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo General	4
1.2.2. Objetivo Especifico	4
1.3. Alcance y Limitaciones.....	4
1.4. Justificación	5
CAPITULO 2	
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Estado del Arte	6
2.2. Modelamiento	8
2.2.1. Sistema de control de lazo abierto	8
2.2.2. Sensores de gas MQ	10
2.2.3. Sensor DHT11	12
2.2.4. Amplificación de señal	12
2.2.5. Ventilador extractor.....	14
2.2.6. Conducto de circulación de aire	15
CAPITULO 3	
PLANTEAMIENTO DE SOLUCION	18
3.1. Diagrama en Bloques	18
3.2. Criterio de solución	21
3.2. Soluciones a evaluar.....	20
3.3. Diseño del sistema sensorial.....	21
3.3.1. Sensores de gas	21
3.3.2. Sensor DHT11	24
3.3.3. Motor ventilador	24
3.4. Diseño del sistema de control	26
3.4.1. Microcontrolador PIC 16f877a.....	27
3.4.2. Programación del software de control	29
3.5. Diseño de hardware electrónico.....	32
3.5.1. Diseño de la placa de control	35
3.6. Diseño estructural	37

3.6.1. Bloque del procesador	37
3.6.2. Bloque de cámara de sensado.....	38
3.6.3. Conducto de aspiración	39
3.6.4. Carcasa	40
CAPITULO 4	
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	43
4.1. Prueba en los sensores	43
4.2. Pruebas del software y hardware	46
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFIA.....	57
INDICE DE ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Principales contaminantes en las ciudades de Perú.	3
Figura 2 Curvas de características sensitivas de sensor MQ7.	10
Figura 3 Circuito estándar de medición del sensor MQ.	11
Figura 4 Esquema eléctrico del amplificador operacional LM324.	13
Figura 5 Esquema interno del amplificador operacional LM324.	13
Figura 6 Esquema eléctrico del amplificador operacional LM324 en modo inversor.	14
Figura 7 Dimensiones de un conducto recto de boca acampanada	15
Figura 8 Desarrollo geométrico del conducto de aire.	16
Figura 9 Diagrama de bloques del sistema principal de control de lazo abierto.	18
Figura 10 Diagrama de bloques del subsistema de control de lazo cerrado del sistema sensorial.	18
Figura 11 Detalle de curva característica del sensor de gas mq7	22
Figura 12 Detalle de curva característica del sensor de gas mq135.	23
Figura 13 Pines de configuración PIC 16F877A.	27
<i>Figura 14 Diagrama de flujo del funcionamiento de la nariz electrónica.</i>	29
Figura 15 configuraciones iniciales y declaración de variables	30
Figura 16 algoritmo toma de datos del DHT11	30
Figura 17 configuraciones de puertos analógicos y su conversor a analógico	31
Figura 18: bucle de programación principal	32
Figura 19 Esquemático de simulación de software Multisim 12	33
Figura 20 Distintas capas de diseño electrónico en Livewire y pcb wizard.	34
Figura 21 Esquema de simulación de la nariz electrónica.	35
Figura 22 Esquema de la figura necesaria para enviar a PCB.	36
Figura 23 Diseño virtual del circuito PCB en Proteus ARES.	36
Figura 24 Diseño 3D del circuito PCB en Proteus ARES.	37
Figura 25 Bloque del procesador.	38
Figura 26 Cámara de sensado.	39
Figura 27 Conducto de ventilación.	40
Figura 28 Ensamble interior de bloques.	40
Figura 29 Ensamble con desacople de cámara de gases.	41
Figura 30 Domo carcasa.	41
Figura 31 Ensamble total.	42
Figura 32 Programa de prueba DHT11.	44

Figura 33 Lectura menor a 25°C indicador led rojo	44
Figura 34 Lectura mayor a 25°C indicador led verde.	45
Figura 35 Prueba de sensores MQ.	45
Figura 36 Prueba de ventiladores conectados a colector y tierra común entre 5 y 12 V...46	46
Figura 37 Prueba de ventiladores conectados a colector y tierras separadas entre 5 y 12 V.	47
Figura 38 Prueba de ventiladores conectados a emisor y tierras separadas entre 5 y 12 V.	48
Figura 39 Algoritmo para diferenciar los diferentes escenarios con Arduino.	48
Figura 40 Prueba del MQ-7 en los diferentes escenarios.....	49
Figura 41 Prueba del MQ-135 en los diferentes escenarios.....	49
Figura 42 Prueba en Proteus.	50
Figura 43 Prueba física escenario 1.....	50
Figura 44 Prueba física escenario 2.....	51
Figura 45 Prueba física escenario 3.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de material particulado permitido	2
Tabla 2 Cuadro comparativo de soluciones	20
Tabla 3 Cuadro comparativo de características de la serie PIC16f87Xa.....	26
Tabla 4 Cuadro de costos	51

INTRODUCCIÓN

Es indiscutible que el planeta está pasando por crisis ambientales de diferente índole debido a los cambios climáticos en distintas regiones de la tierra, siendo evidente que la raíz de todo este desorden climatológico es consecuencia de las actividades del hombre en su proceso de evolución y expansión tecnológica e industrial. Los sucesos mencionados son muy frecuentes sobre todo en las grandes ciudades con sobrepoblación, asimismo en las potencias mundiales con mayor desarrollo industrial y tecnológico; sin embargo hoy en día a pesar de existir mecanismos de control de niveles de contaminación del aire que son nocivos para el ser humano, existen sustancias que no somos capaces de percibir, y que pueden estar presentes tanto en los hogares como en los diversos centros laborales, sustancias que en grandes concentraciones y ambientes cerrados, pueden ser perjudiciales para el hombre. Nuestro país no es ajeno a la realidad del problema que preocupa a todo el mundo; según la OMS el aire que respiramos en nuestro territorio nacional está contaminado a niveles más altos en comparación con otros países de Latinoamérica, frente a esta problemática surge la idea de crear un dispositivo que colabore con la detección de sustancias nocivas, y así beneficiar y prevenir al ser humano, sin requerir de una inversión muy elevada; es así que se propone el presente tema de investigación: **Diseño y desarrollo de una nariz electrónica estacionaria a bajo costo para identificación de fuentes contaminantes** que será desarrollado a continuación.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La Constitución Política del Perú, tiene establecido como derecho fundamental, el gozar de un ambiente saludable y en orden, para ello, se debe contar con una buena calidad de aire, fruto de la participación y el compromiso de la población, el Estado y la empresa; el Estado es el principal responsable de velar por el cumplimiento de las diferentes herramientas de gestión ambiental como Límites Máximos permisibles (LMP), Estándares de Calidad Ambiental (ECA), y los diferentes Decretos que ponga en circulación. Sin embargo, la realidad nacional refleja un panorama completamente distinto, la presencia de contaminantes que superen los límites establecidos en los ECA dan como resultado la disminución de la calidad ambiental del aire, dando lugar al deterioro de la calidad de vida de la población (MINAM:2016). En la actualidad, la globalización y el crecimiento económico del Perú, han generado un gran impacto en la calidad de aire, debido a la emanación de contaminantes por parte de la industria y la misma población. La liberación de gases de efecto invernadero (GEI), ponen en riesgo la salud de la población.

Uno de los principales agentes contaminantes es el material particulado, que viene a ser una mezcla de partículas sólidas y aerosoles, la gran mayoría provienen de reacciones químicas generadas en la atmosfera, como los óxidos de nitrógeno y los oxidos de carbono (CO). Su clasificación es de acuerdo al tamaño del diámetro de la partícula pudiendo ser de 10 micras (PM10), 2.5 micras (PM2.5) y 1 micra (PM1). Los valores permitidos están reflejados en la tabla 1

Tabla 1 Valores de material particulado permitido

VALOR ECA				
PM10	150 µg/m3	24 h	50 µg/m3	anual
PM2.5	25 µg/m3	24 h		
VALOR GUIA OMS				
PM10	50 µg/m3	24 h	20 µg/m3	anual
PM2.5	25 µg/m3	24 h	10 µg/m3	anual

Fuente: MINAM: 2016

Las principales fuentes contaminantes en las ciudades están inventariadas y desarrolladas en la figura 1 donde la más destacada es el pésimo parque automotor con el que se cuenta, lleno de unidades antiguas, esto sumado al caos vehicular generado a diario y el incremento del número de vehículos que circulan por las calles.

N.º	Zona de Atención Prioritaria	Principales fuentes de contaminación
1	Arequipa	Ladrilleras, cementeras, parque automotor (vehículos)
2	Cerro de Pasco	Extracción de minerales
3	Chiclayo	Parque automotor (vehículos), industrias (ladrilleras, azucarera, fundiciones) y fuente de área (panaderías, imprentas y carpinterías)
4	Chimbote	Industria pesquera
5	Cusco	Parque automotor (vehículos), ladrilleras
6	Huancayo	Parque automotor (vehículos)
7	Ilo	Fundición de cobre
8	Iquitos	Generación eléctrica, refinación de petróleo. Parque automotor (motocicletas)
9	La Oroya	Fundición de concentrados de minerales (Plomo, Cobre, Zinc), fuente natural y fuente de área (comercios y servicios)
10	Lima-Callao	Parque automotor (vehículos), industrias
11	Pisco	Industria pesquera
12	Piura	Parque automotor (vehículos)

13	Trujillo	Parque automotor (vehículos), industrias, briquetas de carbón, quema de caña de azúcar, ladrilleras
14	Cajamarca	Parque automotor (vehículos), fuente de área, fuente natural.
15	Pucallpa	Aserraderos, carboneras
16	Tacna	Parque automotor (vehículos), ladrilleras
17	Abancay	Fuente natural, fuentes móviles, fuentes de área (servicios y comercios)
18	Ayacucho	Fuente natural, fuentes móviles, fuentes de área (servicios y comercios)
19	Bagua Grande	Aserradoras y cepilladoras, fuentes de área (pollerías, panaderías)
20	Chachapoyas	Aserradoras y cepilladoras, fuentes de área (pollerías, panaderías)
21	Huancavelica	Fuente natural, fuentes móviles, fuentes de área (servicios y comercios)
22	Huánuco	Parque automotor (vehículos), canteras.
23	Huaraz	Parque automotor (vehículos), ladrilleras
24	Ica	Parque automotor, fuente natural
25	Juliaca	Fuentes naturales, fuentes móviles, ladrilleras y fuentes de área.
26	Moyobamba	Fuente natural, fuentes móviles, fuentes de área (servicios y comercios)
27	Moquegua	Parque automotor, fuente natural, fuente de área (panaderías, pollerías)
28	Puerto Maldonado	Fuentes naturales, fuentes móviles, aserraderos y fuentes de área.
29	Puno	Fuentes naturales, fuentes móviles y fuentes de área.
30	Tarapoto	Fuente natural, fuentes móviles, fuentes de área (servicios y comercios)
31	Tumbes	Cultivo de arroz, fuentes de área (panaderías, pollerías)

Figura 1 Principales contaminantes en las ciudades de Perú.

Fuente: MINAM: 2016.

En las zonas no tan urbanizadas, la contaminación del aire en los domicilios, se da por el uso de estufas que utilizan como energía combustibles de residuos animal o vegetal, donde la alta exposición a PM 2.5 genera un aproximado de 3000 muertes prematuras anuales en adultos, y muertes por problemas respiratorios en niños.(GONZALES:2015). El impacto de estos contaminantes en la salud se ve reflejado en el incremento de admisiones hospitalarias por insuficiencia cardiaca, asma, cardiopatía coronaria, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), y los casos de muerte por problemas cardiovasculares, respiratorios y cáncer pulmonar (MINAM:2016) .

En espacios interiores el CO y sus derivados generados por combustión suele venir de aparatos o actividades que se generan dentro del hogar. Una mala ventilación o un mal mantenimiento de los dispositivos encargados de la regulación del aire pueden generar que los índices permitidos se excedan, es por ello que una

alternativa para poder alertar, prevenir el problema de la contaminación del aire es la creación de un dispositivo electrónico que permita percibir gases contaminantes por medio de un sistema sensorial con capacidad de diferenciar entre distintas partículas, de tal manera que pueda alertar con un alto grado de confiabilidad sobre sustancias nocivas que encontramos en el ambiente. Esto aliviaría las concentraciones contaminantes presentes en el hogar y prevendría las enfermedades descritas en el apartado anterior

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar y Desarrollar una nariz electrónica estacionaria a bajo costo para la identificación de fuentes contaminantes.

1.2.2. Objetivo Específico

- Diseñar un sistema sensorial capaz de detectar el CO y el CO₂ dispersos en el ambiente.
- Controlar los parámetros de temperatura y humedad para garantizar que el sistema sensorial trabaje en sus condiciones más recomendables.
- Diseñar una estructura que contenga todos los componentes de la nariz electrónica y que a su vez mantenga la estética del lugar donde será instalado.

1.3. Alcance y Limitaciones

El principal alcance del proyecto es lograr una correcta lectura e interpretación de la presencia de gases contaminantes, con la señal de alarma y los indicadores luminosos del dispositivo, se podrá prevenir al usuario, y mantenerlo al tanto del nivel de contaminación que tiene el ambiente en donde se encuentra.

Las limitaciones del proyecto están definidas por el ambiente en el cual va a trabajar el dispositivo, el cual será menor de 20m² y debe ser cerrado, a su vez, sólo se

podrá reconocer el CO y el CO₂. De la misma forma el dispositivo será estacionario por lo que no se podrá trasladar en busca del contaminante.

1.4. Justificación

El dispositivo nariz electrónica busca generar un impacto positivo a nivel social, tanto en el hogar como en los centros laborales, brindando ayuda extra en el cuidado de la salud familiar, ya que su principal función es la de prevenir que el ser humano permanezca en un ambiente contaminado por gases tóxicos como el CO y CO₂, que son inocuos para él.

Otra de las principales características de la nariz electrónica a desarrollar es el bajo costo, lo cual genera un beneficio económico, pensando siempre en llegar a la mayoría de familias y centros laborales, y no ser un dispositivo exclusivo de empresas grandes o de industrias. Todos los componentes utilizados se pueden adquirir localmente, esto impacta directamente en el precio ofrecido a la venta.

Desde el punto de vista tecnológico, el prototipo presentado busca integrar una buena adquisición de datos y una detección temprana de gases contaminantes, con dispositivos electrónicos sencillos. A su vez, se busca brindar una interfaz amigable para el usuario, permitiendo reconocer las alertas que genera el dispositivo de manera intuitiva. El diseño del dispositivo será discreto para que pueda ser instalado en cualquier ambiente sin interferir con él.

Por último, el cuidado del medio ambiente es importante, ya que las principales ciudades Latinoamericanas, entre ellas Lima, sufren de un alto índice de contaminación ambiental, si bien es cierto el dispositivo nariz electrónica no reducirá la contaminación de manera directa, en cambio, permitirá al usuario estar alerta ante la presencia de un ambiente contaminado, induciéndolo a mejorar la calidad del aire en donde se encuentra.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del Arte

Los alcances de la nariz electrónica abarca muchos campos en la industria, por ende las soluciones son variadas para cada caso específico; desde la capacidad de automatizar el producto, mejorar la calidad de la muestra, disminuir costos de fabricación hasta agregarle movilidad al dispositivo, son procesos que se quieren adoptar para solucionar la problemática y poder ofrecer un buen producto.

El trabajo de investigación publicado por Gualdrón y otros, plantea el reemplazo del computador por un dispositivo hardware más pequeño para ser aplicado como un sistema de procesamiento y clasificación de datos extraídos de una conjunto de sensores para gases químicos, que permita hacer la siguientes mejoras: ahorro económico en un sistema de procesamiento de datos, que el equipo sea portátil, que contribuya como instrumento de medición de sustancias tóxicas para cuidado de la salud y el medio ambiente. (GUALDRÓN:2014)

Otra forma de automatizar la nariz electrónica es mediante el sistema embebido con tecnología DSP, propuesto por Durán y Torres, el cual entrena una red neuronal con los elementos a medir en su forma pura, para luego incluir el proceso en un sistema independiente de la computadora, lo cual le da autonomía al proyecto. A su vez los autores plantean el uso de una cámara de concentración permitiendo así disminuir las impurezas de las muestras. (DURÁN:2013)

Este aporte mejoraría la calidad de la muestra, es por eso que Morales y otros, proponen desarrollar una instalación automática para la detección de olores por medio de un sistema de arrastre automático, usando como controlador una plataforma para mejorar la discriminación de diferentes odorantes asimismo, la adquisición en paralelo de muestras, con excepción de los disolventes orgánicos (butanol, etanol y alcohol), en donde proponen el uso de más sensores o algún arreglo que pueda ayudar en la discriminación. La propuesta impacta de la siguiente manera: el arrastre de los olores por medio de una bomba de vacío hace una detección más rápida y efectiva de un contaminante, el uso de una tarjeta de adquisición de datos ayuda en mejorar la calidad de las muestras. (MORALES:2015)

El bajo costo del producto también es importante para lograr un mayor alcance del mismo, por ello el trabajo de investigación de Rubio y otros, muestra una manera práctica y portátil de diseñar una nariz electrónica; aunque solo se usó un sensor y el objetivo era una sola muestra contaminante. El trabajo da muestras de que hay mucho trabajo por hacer en lo que a narices electrónicas compete. (RUBIO:2015)

Sin embargo, el dispositivo móvil propuesto por Montenegro y otros, añade la comunicación vía wi-fi para su monitoreo y control en tiempo real, esto facilita el proceso de las señales obteniendo una respuesta más rápida, a su vez ofrecen una forma de diseño y construcción a bajo costo.(MONTENEGRO:2015) La movilidad del dispositivo también es necesaria para la correcta ubicación de la fuente contaminante, Vasquez desarrolla un robot modular integrado con un módulo de nariz electrónica, el cual integra un algoritmo que presenta un buen resultado para la ubicación de la fuente contaminante ya que es capaz de trasladarse en su dirección y quedarse rondando por los alrededores de la zona en donde la fuente es más intensa.(VÁSQUEZ:2013)

Finalmente uno de los alcances en torno a la salud que generó gran expectativa es la aplicación de sensores de químicos resistivos, propuesto por Durán y otros, para detectar pacientes con síntomas de enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC) en donde se obtuvieron un buen resultado al diferenciar un paciente con EPOC y uno sano. Además de hacer una buena selección también permite observar la severidad de la enfermedad (DURÁN:2012).

2.2. Modelamiento

A continuación se presentará el modelado matemático de las diferentes etapas que conforman el dispositivo a diseñar.

2.2.1. Sistema de control de lazo abierto

En el diseño del control del prototipo se utilizara un sistema de control de lazo abierto como se muestra en la figura 1, debido a que no existe una variable a controlar en la salida de la planta es decir, que el resultado del sistema de control no tiene ningún efecto sobre el controlador, no se realiza una comparación de valores con la entrada, en conclusión los parámetros de control son fijos y definidos por el fabricante.

Para la visualización y alarma:

Donde:

$$U(S) = m(s) * N(S) \dots \dots \dots (1)$$

$$m(S) = C(s) * k(s) \dots \dots \dots (2)$$

Reemplazando ecuación 2 en 1

$$U(S) = C(s) * k(s) * N(S) \dots \dots \dots (3)$$

$$k(S) = a(s) * H(s) \dots \dots \dots (4)$$

Reemplazando ecuación 4 en 3

$$U(S) = C(s) * a(s) * H(s) * N(S) \dots \dots \dots (5)$$

$$a(S) = E(s) * T(S) \dots \dots \dots (6)$$

Reemplazando ecuación 6 en 5

$$U(S) = C(s) * E(s) * T(S) * H(s) * N(S) \dots \dots \dots (7)$$

$$\frac{U(S)}{E(s)} = C(s) * T(s) * H(s) * N(S) \dots \dots \dots (8)$$

Para el motor de absorción:

Como en el diagrama de bloques q(S)

$$V(s) = J(s) * q(s) \dots \dots \dots (9)$$

Como a m(s) y q(s)

Entonces:

$$V(s) = J(s) * C(s) * k(s) \dots \dots \dots (10)$$

Reemplazando ecuación 4 en 10

$$V(s) = J(s) * C(s) * a(s) * H(s) \dots \dots \dots (11)$$

Reemplazando ecuación 6 en 11

$$V(s) = J(s) * C(s) * E(s) * T(S) * H(s) \dots \dots \dots (12)$$

$$\frac{V(s)}{E(s)} = J(s) * C(s) * T(s) * H(s) \dots \dots \dots (13)$$

$$K(S) + L(S) = M(S) * n(S) \dots \dots \dots (14)$$

$$n(S) = F(S) * d(S) \dots \dots \dots (15)$$

Reemplazando ecuación 15 en 14

$$K(S) + L(S) = M(S) * F(S) * d(S) \dots \dots \dots (16)$$

$$d(S) = C(S) * [e1(S) + e2(S)] \dots \dots \dots (17)$$

Sustituyendo ecuación 17 en 16

$$K(S) + L(S) = M(S) * F(S) * C(S) * [e1(S) + e2(S)] \dots \dots \dots (18)$$

$$[e1(S) + e2(S)] = [I(S) + J(S)] - [i(S) + j(S)] \dots \dots \dots (19)$$

Reemplazando ecuación 19 en 18

$$K(S) + L(S) = M(S) * F(S) * C(S) * \{[I(S) + J(S)] - [i(S) + j(S)]\} \dots \dots \dots (20)$$

$$K(S) + L(S) = M(S) * F(S) * C(S) * [I(S) + J(S)] - M(S) * F(S) * C(S) * [i(S) + j(S)] \dots \dots \dots (21)$$

$$j(S) + k(S) = [T(S) + H(S)] * [K(S) + L(S)] \dots \dots \dots (22)$$

$$K(S) + L(S) = M(S) * F(S) * C(S) * [I(S) + J(S)] - M(S) * F(S) * C(S) * [T(S) + H(S)] * [K(S) + L(S)] \dots \dots \dots (23)$$

$$[K(S) + L(S)] + M(S) * F(S) * C(S) * [T(S) + H(S)] * [K(S) + L(S)] = M(S) * F(S) * C(S) * [I(S) + J(S)]$$

$$[K(S) + L(S)] \{1 + M(S) * F(S) * C(S) * [T(S) + H(S)]\}$$

$$= M(S) * F(S) * C(S) * [I(S) + J(S)]$$

$$\frac{[K(S) + L(S)]}{[I(S) + J(S)]} = \frac{M(S) * F(S) * C(S)}{\{1 + M(S) * F(S) * C(S) * [T(S) + H(S)]\}} \dots \dots (24)$$

2.2.2. Sensores de gas MQ

Para realizar una correcta toma de muestras de los sensores químico-resistivos es necesario hacer un modelo matemático a seguir de acuerdo a las especificaciones técnicas de la hoja de datos de cada sensor a utilizar. Cada tipo de sensor tiene una curva característica para cada tipo de muestra según la figura 2, en el caso del sensor mq7, es un dispositivo con característica de alta sensibilidad al monóxido de carbono.

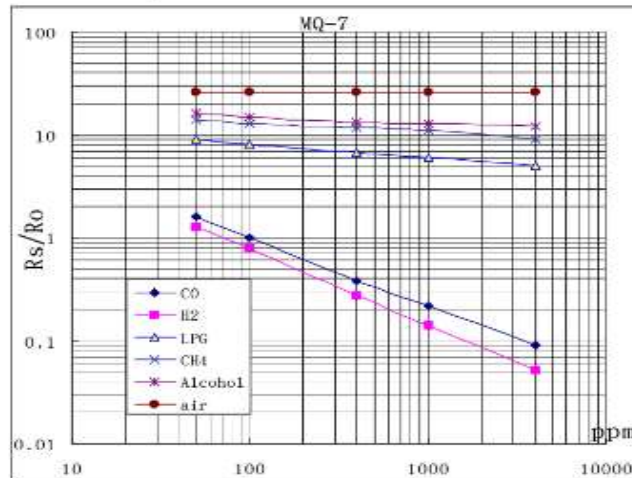


Figura 2 Curvas de características sensitivas de sensor MQ7.
Fuente: Datasheet MQ-7.

El principio de medición estándar del circuito de la serie de sensores MQ comprende de dos partes como se observa en la figura 3 la primera es la etapa de calentamiento, para el funcionamiento de acuerdo al modelo puede necesitar de 2 a 5 voltios, el cual es necesario esperar su tiempo de calentamiento de acuerdo a su hoja de datos de cada sensor.

La segunda etapa es el circuito de salida de la señal del sensor, el cual se encarga de responder con precisión los cambios de la resistencia superficial del sensor.

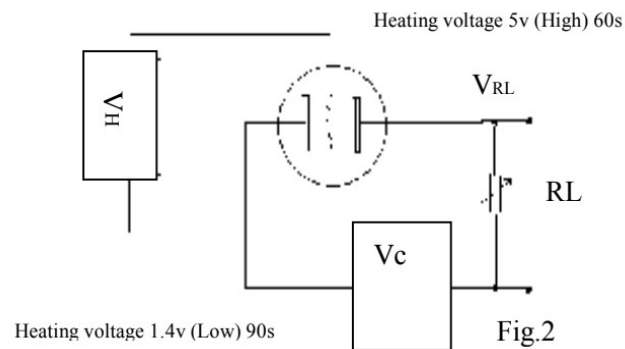


Figura 3 Circuito estándar de medición del sensor MQ.
Fuente: Datasheet MQ7.

Primero de acuerdo a la gráfica de curvas características para cada tipo de gas en este caso sería para monóxido de carbono.

En donde:

Para X valor en ppm de Co para $R_s/R_o = R_s/R_L$

Entonces de acuerdo a la hoja de datos:

$$\frac{R_s}{R_L} = \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} \dots \dots \dots (25)$$

Despejamos:

$$\frac{R_s}{R_L} V_{RL} = (V_c - V_{RL}) \dots \dots \dots (26)$$

$$\frac{R_s}{R_L} V_{RL} + V_{RL} = V_c \dots \dots \dots (27)$$

$$V_{RL} \left(\frac{R_s}{R_L} + 1 \right) = V_c \dots \dots \dots (28)$$

$$V_{RL} = \frac{V_c}{\frac{R_s}{R_L} + 1} \dots \dots \dots (29)$$

De esta manera tenemos VRL que es el voltaje de resistencia de carga para el sensor que permite tomar una muestra de datos exacta.

2.2.3. Sensor DHT11

El DHT11 es un sensor que capta la temperatura y humedad del ambiente mediante una técnica de adquisición de datos digitales que asegura una alta fidelidad de lectura. (Li: 2017) El sensor utiliza un componente tipo resistivo para detectar la humedad y un componente NTC para la temperatura. La comunicación que ofrece el sensor a través de su pin de datos consta de 40 bits cumple el siguiente formato: 8 bits para los datos enteros de humedad, 8 bits que representan los decimales del valor de humedad sentido, 8 bits del valor entero de la temperatura, 8 bits para los decimales de la temperatura sensada y 8 bits de paridad que aseguran la correcta transmisión de información. (Datasheet: DHT11). Es tarea del microcontrolador realizar la correcta interpretación de los datos entregados por el sensor puesto que estos son binarios.

2.2.4. Amplificación de Señal

El amplificador diferencial es un dispositivo de alta ganancia que cuenta con varias etapas, cuenta con una impedancia de entrada muy alta y cierta ganancia de tensión, al medio, una ganancia de voltaje muy alta y en la salida una impedancia muy baja. El uso típico de los amp-op (amplificadores operacionales) es el de proporcionar cambios en el voltaje y en su amplitud (Alvarez:2012), característica que será aprovechada la tensión de salida de los sensores, el cual está en el rango de 2.5 a 3.5 V. y así facilitar el trabajo del microcontrolador. Para ello se utilizará el

amplificador operacional LM324 cuyo esquema eléctrico está definido en la Figura 4.

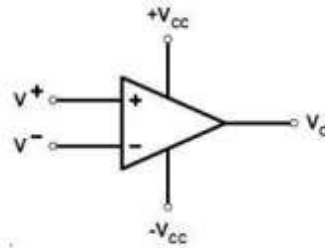


Figura 4 Esquema eléctrico del amplificador operacional LM324.
Fuente: RASHID: 2000.

El encapsulado LM324 cuenta con 4 amplificadores internos distribuidos de forma independiente según el esquema de la Figura 5.

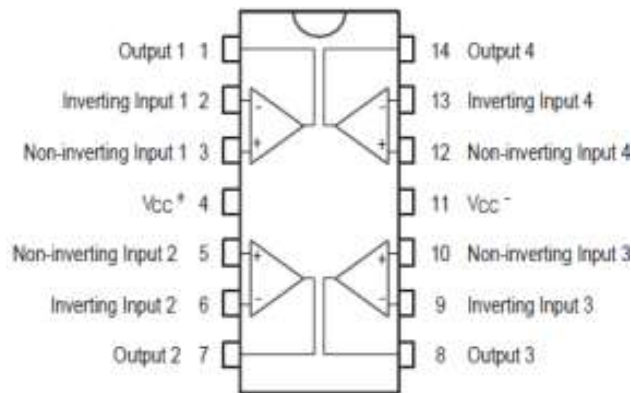


Figura 5 Esquema interno del amplificador operacional LM324.
Fuente: RASHID: 2000.

La fuente de alimentación que permite el funcionamiento del LM324 varía entre los 3 a 30V y su corriente que alimenta a cada uno de los amplificadores oscila alrededor de los 375 μ A.

Para los sensores seleccionados se utilizara el amplificador en modo no inversor acogiéndose al esquema de la figura 6.

Llamaremos a la tensión del resistor R1 VR1 el cual adquiere la siguiente expresión por la teoría de divisor de tensiones.

$$VR1 = \frac{R1}{R1 + R2} * Vo \dots \dots \dots (26)$$

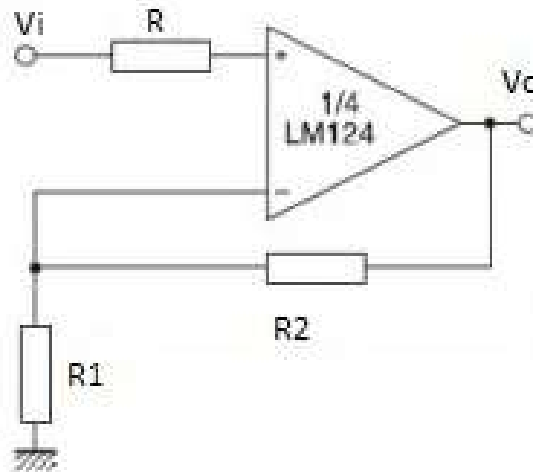


Figura 6 Esquema eléctrico del amplificador operacional LM324 en modo inversor.
Fuente: RASHID: 2000.

A su vez se tomará como tensión de ingreso V_i la que está a la derecha del resistor R. Esto genera que $VR1 = V_i$

Al despejar $V_o/V_i = A_v$ ganancia del amplificador, tenemos

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R1 + R2}{R1} \dots \dots \dots (27)$$

$$A_v = 1 + \frac{R2}{R1} \dots \dots \dots (28)$$

2.2.5. Ventilador extractor

El ventilador centrífugo o turbina, es un sistema de aspas giratorias cuya finalidad es transportar el flujo de aire a través de él, con una entrada de aire alineada con el eje, y una salida de aire perpendicular al eje del motor. (ESCODA:1998) La velocidad del aire que atraviesa el ventilador corresponde a la ecuación 29.

$$V \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{Q(m^3/h)}{3600 * S(m^2)} \dots \dots \dots (29)$$

Donde S es la sección del ventilador en m^2

El motor DC del ventilador de tipo centrífugo, viene instalado internamente, tiene una configuración de rodamiento a bolas y la potencia de consumo viene especificada por tabla en la hoja de datos del ventilador.

La potencia del motor viene definida por la ecuación 30

$$P_m = V_m * I_m \dots \dots (30)$$

Donde P_m : potencia del motor

V_m : Tensión de alimentación del motor

I_m : Corriente del motor

2.2.6. Conducto de circulación de aire

El conducto de circulación de aire puede ser diseñado de varias formas, entre ellas las más resaltantes son los conductos rectos y codos. Los conductos rectos son los que ofrecen menor pérdida de eficiencia en el momento de extraer aire. Los diseños de conductos siempre ofrecen dimensiones diferentes tanto en la entrada como en la salida. Uno de los diseños a analizar es el de boca acampanada cuyo cálculo de dimensiones empezará a partir de los datos que muestra la figura

7

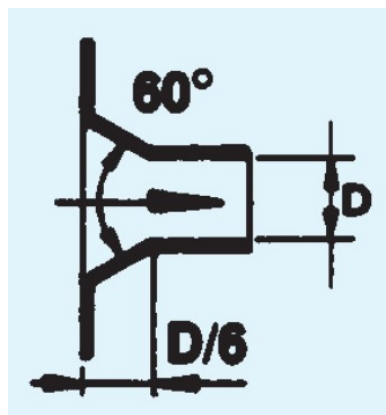


Figura 7 Dimensiones de un conducto recto de boca acampanada . Fuente: Escoda: 1998.

Para calcular el diámetro de la sección de ingreso de aire se utilizará las relaciones trigonométricas de un triángulo rectángulo de 30° y 60° donde el lado opuesto al ángulo de 30° es “x”, y el lado opuesto al ángulo de 60° es de D/6. La variable “x” es la porción extra del radio de la boquilla de entrada que lo diferencia del de salida representados en la figura 8.

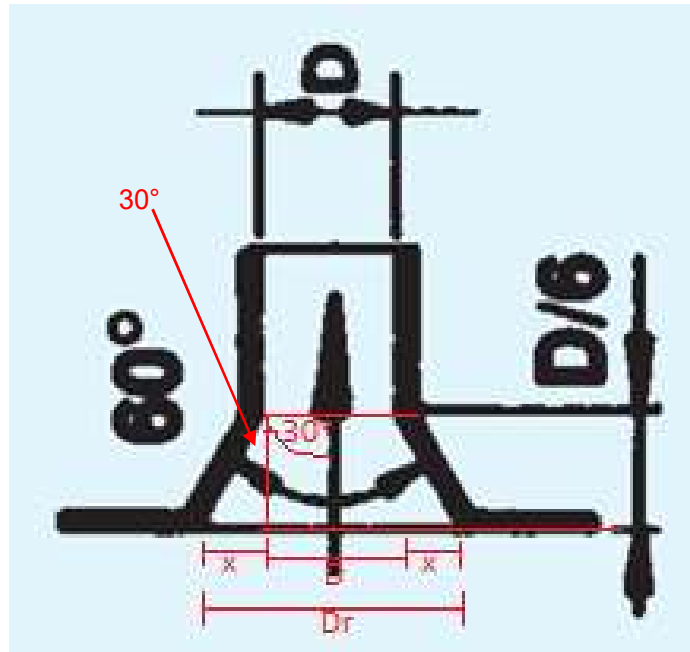


Figura 8 Desarrollo geométrico del conducto de aire.
Fuente: Elaboración Propia.

Aplicando las razones trigonométricas tenemos que:

$$\operatorname{tg} 30^{\circ} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{x}{D/6} \dots \dots \dots (31)$$

Al multiplicar la relación de equivalencia tenemos:

$$x = \frac{\frac{D}{6}}{\sqrt{3}} = \frac{D\sqrt{3}}{18} \dots \dots \dots (32)$$

El diámetro de entrada será representado por la variable Dr y su equivalencia es de

$$D_r = D + 2x \dots \dots \dots (33)$$

Al reemplazar (32) en Dr se tiene:

$$D_r = D + 2 * (\frac{D\sqrt{3}}{18}) \dots \dots \dots (34)$$

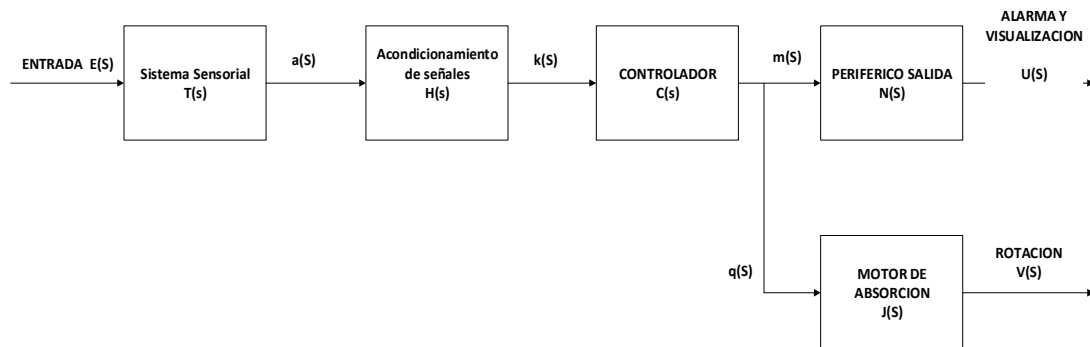
Despejando la ecuación (34)

$$D_r = D + \frac{D\sqrt{3}}{9} \dots \dots \dots (35)$$

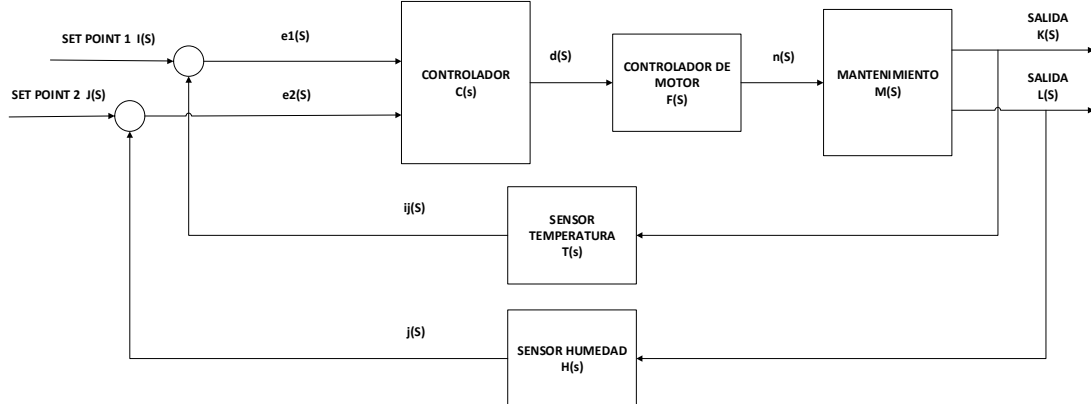
CAPÍTULO 3

PLANTEAMIENTO DE SOLUCION

3.1. Diagrama en Bloques



*Figura 9 Diagrama de bloques del sistema principal de control de lazo abierto.
Fuente: Elaboración Propia.*



*Figura 10 Diagrama de bloques del subsistema de control de lazo cerrado del sistema sensorial.
Fuente: Elaboración Propia.*

El diagrama de bloques que veremos en la figura 9 ayudara a comprender mejor el sistema de funcionamiento de nuestro proyecto.

En primer lugar, se encuentra la etapa de toma de muestra conformada por los sensores químico-resistivos de gases, el cual es un dispositivo de percepción olfativa que se encarga de entregar a su salida variaciones de voltajes bajos a la entrada de la etapa de acondicionamiento dependiendo al nivel de contaminación al que están expuestos.

La segunda etapa tiene como principal componente un amplificador operacional, que por medio de un arreglo se encarga de mejorar la muestra, el cual hace un filtrado de señales muy pequeñas provenientes del sensor mq.

La tercera etapa es la etapa de control del microcontrolador el cual recibe por sus entradas analógicas la señal tratada por el amplificador para luego procesar la información tomada de acuerdo por medio de un algoritmo específico enviar una respuesta por sus puertos de salida (previamente configurados).

La cuarta etapa se encuentra la visualización y alerta que está conformado por un Arreglo de diodos led RGB y una alarma; el primero informara el nivel de toxicidad que existe en el ambiente variando el color según el nivel, el segundo envía la señal de alerta sonora como aviso de la existencia de un contaminante al sobrepasar los límites máximos permisibles.

La quinta etapa es la etapa de entrada y salida de aire conformada por dos motores de corriente continua, el motor de inhalación tiene la función de facilitar la toma de muestra del medio, usando una turbina o ventilador centrífugo, y el de extracción el de eliminar el aire contenido en la cámara de sensado. El funcionamiento es relativo a la toma de muestra de los sensores, y es gobernado por el microcontrolador.

En la figura 10 se observa el subsistema de control de lazo cerrado que se encarga de monitorear y estabilizar los niveles de temperatura y humedad como

requerimiento para una buena lectura dentro la cabina de acumulación en donde el actuador encargado de realizar la purga es un motor por medio de un extractor de aire.

3.2. Soluciones de a evaluar

Para el diseño de la nariz electrónica se tomó en cuenta tres ideas de sistemas de discriminación y reconocimiento de olores para monóxido y dióxido de carbono las cuales son a bajo costo, de acuerdo a las especificaciones del modelado para cada parte del proyecto de investigación, en la tabla 2 se mostrara las posibles soluciones en donde se selecciona el modelo más adecuado que cumpla con lo requerido al problema planteado y sus característica de diseño como son bajo costo, que sea un sistema estacionario y6 que trabaja a un rango no mayor a 20 mts cuadrado.

Tabla 2 Cuadro comparativo de soluciones

Componentes	Opción 1	Opción 2	Opción 3
1. Sensores de gas	Serie MQ bajo costo	Serie FIS Alto costo	Serie MTG
2. Sistemas de absorción	Ventilador centrifugo	Ventilador axial	Ventilación natural
3. Tipo de motor del ventilador	Motor dc sin escobillas	Motor dc con escobillas	Motor dc con escobillas
4. microcontrolador	PIC	Arduino uno	Tarjeta FPGA
5. periférico de salida	Por nivel de iluminacion led	Pantalla LCD 2X16	Por alarma
6. tarjeta de adquisición de datos	Propias del sensor	Sin tarjeta de adquisición	Arreglo con Opamp
7. lenguaje de y software de programación	PIC CCS	ARDUINO	ASEMMBLER

8. sistemas de muestreo	Con cámara de acumulación de muestra	Trompa	Sin cámara inhalación directa
9. mecanismo de inhalación	conica interna	Sonda	sin dispositivo

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Criterio de solución

Para elegir los dispositivos a utilizar, se tomó en cuenta las principales características del proyecto de investigación. Una de ellas es el bajo costo, esto quiere decir que puede estar al alcance de las personas con bajo presupuesto económico, la viabilidad técnica permite entregar un producto de buena calidad, a pesar del bajo costo, y que respete las normas técnicas peruanas de calidad del aire. De acuerdo a este criterio de selección tomando en cuenta los objetivos, alcances y limitaciones para el desarrollo del proyecto, se eligió la opción número 1.

3.4. Diseño del sistema sensorial

3.3.1. Sensores de gas

Para realizar el diseño de la etapa de muestreo se escogió entre las diferentes tipos de sensores quimio resistivos y se seleccionó de acuerdo a las exigencias del proyecto la gama de sensores MQ debido a su bajo costo y además de su facilidad de adquisición.

MQ7

Para realizar la configuración para el uso del sensor MQ7 es necesario tomar en cuenta los parámetros del fabricante de acuerdo a la información en la hoja de datos, primero se selecciona en la tabla la curva característica del gas a trabajar en este caso se utilizará monóxido de carbono como se muestra en la figura 11 en

la cual selecciona para 200 partículas por millón de CO se tiene como resultado el valor de la división de la R_s entre R_o en donde la primera es el valor la resistencia interna del sensor de gas y la segunda es el valor de las resistencia de carga del circuito del sensor cuyo valor es definido por la selección del gas a utilizar en esta parte nosotros usamos la curva característica azul que corresponde al CO que a continuación detallaremos el proceso de selección.

Para 200ppm según tabla R_s/R_o es igual a 0.6.

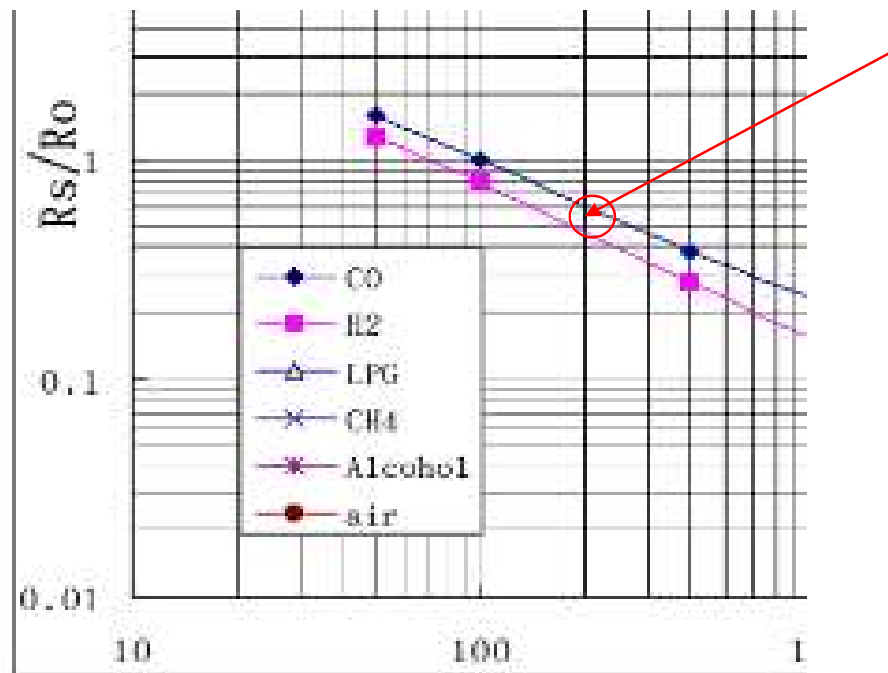


Figura 11 Detalle de curva característica del sensor de gas mq7
. Fuente: Datasheet MQ-7.

Ecuación característica del sensor (36):

$$\frac{R_s}{R_o} = \frac{V_c - V_{Ro}}{V_{Ro}} \dots \dots \dots (36)$$

Ahora con el $V_c = 5V$, $R_s/R_o = 0.6$ podemos hallar el V_{Ro}

Despejamos en hallamos V_{Ro} :

$$0.6 = (5V - V_{Ro})/V_{Ro}$$

$$0.6VRo = 5V - VRo$$

$$1.6VRo = 5V$$

$$VRo = 3.15V$$

Con el voltaje hallado podemos tener referencia del valor para voltaje de carga el cual será regulado a modo manual por una Ro variable a la salida del sensor.

MQ135

En este modelo de sensor de la misma forma es necesario despejar el voltaje de la resistencia de carga VRL del circuito del sensor en la ecuación 30 para ello es necesario seleccionar el cuadro de curva característica de Dióxido de carbono un punto en PPM vs los valores RS/RL como se muestra en la figura 12 y en conjunto con los datos de Vc permiten despejar para hallar el voltaje de referencia que se debe tener en la resistencia de carga.

Ecuación característica del sensor

$$Rs = \left(\frac{Vc}{VRL} - 1 \right) * RL \dots \dots \dots (37)$$

Tenemos para CO2:

Vc = 5 vdc, relación de RS/Ro = 0.8

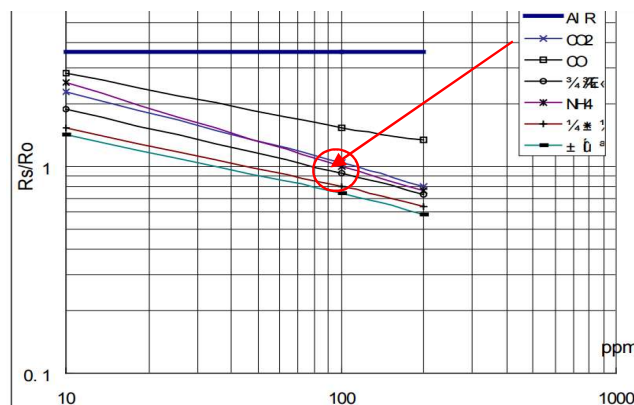


Figura 12 Detalle de curva característica del sensor de gas mq135.
Fuente: Datasheet MQ-135.

Despejando y reemplazando valores en ecuación 37

$$\frac{R_s}{R_L} = \left(\frac{V_c}{V_{RL}} - 1 \right) \dots \dots \dots (38)$$

$$\frac{R_s}{R_L} + 1 = \frac{V_c}{V_{RL}}$$

$$V_{RL} = \frac{V_c}{\left(\frac{R_s}{R_L} + 1 \right)}$$

Reemplazando en ecuación 6

$$V_{RL} = \frac{5}{(0.8 + 1)}$$

$$V_{RL} = 2.778 \text{ vdc}$$

Con esto tenemos el voltaje de referencia para la RL de carga de circuito del sensor, RL de carga será reemplazado por una resistencia de valores ajustables además esta señal de salida del sensor MQ135 llegara a la etapa de acondicionamiento para filtrar la señal.

3.3.2. Sensor DHT11

El sensor DHT11, estará ubicado dentro de la cámara de sensado, su principal función es la de monitorear la temperatura y la humedad dentro de ella, debido a que las condiciones estándares de trabajo de los sensores MQ son de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en temperatura y $64\% \pm 5\%$ en humedad relativa. Valores que están dentro del rango de lectura del sensor. De esta forma se brindará ayuda en la fidelidad de sensado de los MQ.

3.3.3. Motor ventilador

Para asegurar la correcta lectura de los sensores dentro de la cabina, se instalaran dos ventiladores centrífugos, o también llamados turbinas; el primero

tendrá la función introducir el aire del ambiente hacia la cabina mantenerlo por 90 s, que es el tiempo estimado que requieren los sensores para asegurar una correcta lectura (Datasheet MQ-7). El segundo ventilador tendrá una doble función, la primera es la extraer el aire introducido en cabina pasado los 90 segundos que requieren los sensores, la segunda es la de mantener la cámara de sensado a una temperatura óptima con ayuda del sensor DHT11.

Las aspas del ventilador tendrán una sección con diámetro 0.032 m lo que resulta un área de $S=0.8042 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Para captar los gases o vapores por la boquilla de extracción se requiere una V_a de 0.25 a 0.5 m/s, al despejar la ecuación 29 se tiene:

$$V = \frac{Q}{3600 * S} \rightarrow Q = V * 3600 * S$$

$$Q = 3600 * (0.5 * 0.8042 * 10^{-3}) = 1.4476 \text{ m}^3/\text{h}$$

Los valores comerciales del flujo de aire para la selección de ventiladores, se encuentran en CFM (cubic feet per minute) por lo que realizaremos la conversión.

$$1 \text{ m}^3/\text{h} = 0.5886 \text{ CFM}$$

$$Q = 1.4476 \text{ m}^3/\text{h} = 0.8521 \text{ CFM}$$

Este sería el caudal de flujo de aire necesario para captar las muestras del ambiente.

El ventilador ubicado en la base, va conectado a un tubo el cual tiene una terminación cónica, y su función es la de absorber el aire a su alrededor, la función giratoria permitirá que la muestra a tomar sea capturada de cualquier parte del ambiente logrando un alcance de 360 grados.

El ventilador encargado de la extracción requiere las mismas características del antes mencionado, por lo que sus requerimientos son los mismos.

El prototipo desarrollado no debe ocupar un volumen muy grande, es por ello que se realizó una búsqueda comercial de ventiladores con dimensiones de

50*50*15mm siendo el elegido el modelo BM5115-04W-B49 de la marca NMB cuya hoja de datos se detalla en el anexo 3.

3.4. Diseño del Sistema de Control

En el diseño de control se tomó en cuenta la gama de microcontroladores PIC porque a diferencia de otros controladores como Arduino con Atmega o FPGA, son de costos muy elevados y tienen parámetros de conexión pre establecidos en sus módulos de programación, el PIC permite diseñar una placa propia en donde se puede administrar el precio de acuerdo a las características de la placa, además de su disponibilidad en el mercado, lo cual hace viable la idea de elaborar un circuito electrónico de control con este tipo de microcontrolador. Para ello se realizó un cuadro comparativo de las especificaciones técnica que tiene cada PIC de distinta serie como se ve en la tabla 3. Y de esta manera de acuerdo a su disponibilidad en el mercado, elegir el que mejor se adapte al alcance del proyecto.

Tabla 3 Cuadro comparativo de características de la serie PIC16f87Xa

Características importantes	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Frecuencia de operación	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and retardos)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Programa de memoria flash (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Memoria de datos(bytes)	192	192	368	368
EEPROM (bytes)	128	128	256	256
Interrupciones	14	15	14	15
I/O puertos	Puerto A, B, C	Puerto A, B, C, D, E	Puerto A, B, C	Puerto A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modulos	2	2	2	2
Comunicación serial	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Comunicación en paralelo	—	PSP	—	PSP
Modulo analógico digital de 10 bits	Canales de 5 entradas	Canal de 8 entradas	Canales de 5 entradas	Canal de 8 entradas
Comparador analógico	2	2	2	2
Juego de instrucciones	35 instrucciones	35 instrucciones	35 Instrucciones	35 Instrucciones

Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN
----------	---	---	---	---

Fuente: Microchip 2004

Para el diseño del sistema de control se requiere un microcontrolador de 8bits de bajo consumo que pueda funcionar a 5 VDC, que contenga una memoria RAM de 368 x 8 bytes como mínimo 28 pines configurables como entrada y salida, tres puertos de 8 bits, además que tenga como mínimo 6 entradas analógicas en uno de sus puertos para hacer lectura de las señales enviadas desde la matriz de sensores, el segundo puerto se utiliza para la visualización de datos por medio de una escala de iluminación led para marcar los niveles de contaminación y el tercer puerto que son configurados como salida para enviar una señal de activación a los actuadores; asimismo que sea reprogramable para su optimización y que soporte distintos lenguajes de programación.

3.4.1. Microcontrolador PIC 16f877a

De acuerdo a todas estas características se elige el microcontrolador PIC 16F877A de 40 pines en su package PDIP como se muestra en la figura 13, que cuenta con 33 entradas y salidas con 14 conversores analógicos a digital con una resolución de 10 bits, salidas para un control por ancho de pulso PWM.

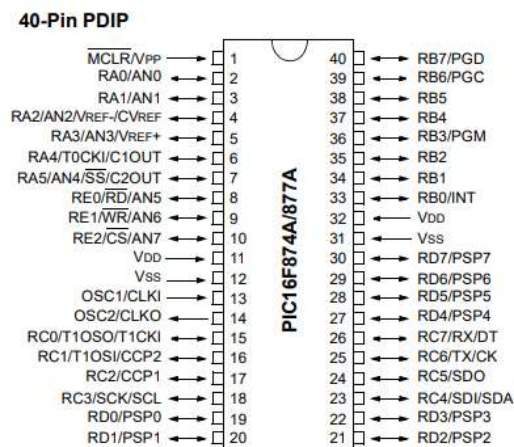


Figura 13 Pines de configuración PIC 16F877A

Fuente: Microchip 2004

En el diseño del software primero se realizó un diagrama de flujo como se observa en la figura 14 para aclarar la lógica de funcionamiento para que luego de terminado del algoritmo de control sea trasladado a un lenguaje de alto nivel, el controlador será programado en lenguaje C con el software de programación CCS(PICC).

Para empezar al el equipo realiza un escaneo en la cámara de sensores si los valores de humedad y temperatura están dentro de los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de la nariz; si obtiene una respuesta de afirmación inmediatamente enciende el motor aspirador para tomar un muestra en el ambiente y al mismo tiempo se visualiza en escala de iluminación de colores LED el nivel de contaminación en donde verde significa que el ambiente es adecuado, es decir se encuentra libre de contaminación y rojo para el caso de que el ambiente tiene alta exposición a CO y CO², los colores que diferencian el nivel de exposición son una degradación y combinación desde el verde (saludable) pasando por el amarillo como alerta y rojo (ambiente muy peligroso) en caso contrario, iniciaría la activación del sistemas de mantenimiento de la cámara iniciando la purgación del ambiente por medio de un ventilador extractor retirando la humedad de la cabina de sensores, después de haber estabilizado el sistema captador realiza la toma de muestras del ambiente para luego realizar la discriminación del material particulado (contaminante) que hay en el ambiente, posteriormente de haber tomado la primera muestra realiza un escaneo constante del ambiente siempre y cuando los valores de humedad y temperatura sean los correctos en la cámara, de esta manera realiza una actualización de data en el ambiente el cual será mostrado en el indicador luminoso y des esta manera realizar una correcta lectura del nivel de contaminación en el ambiente.

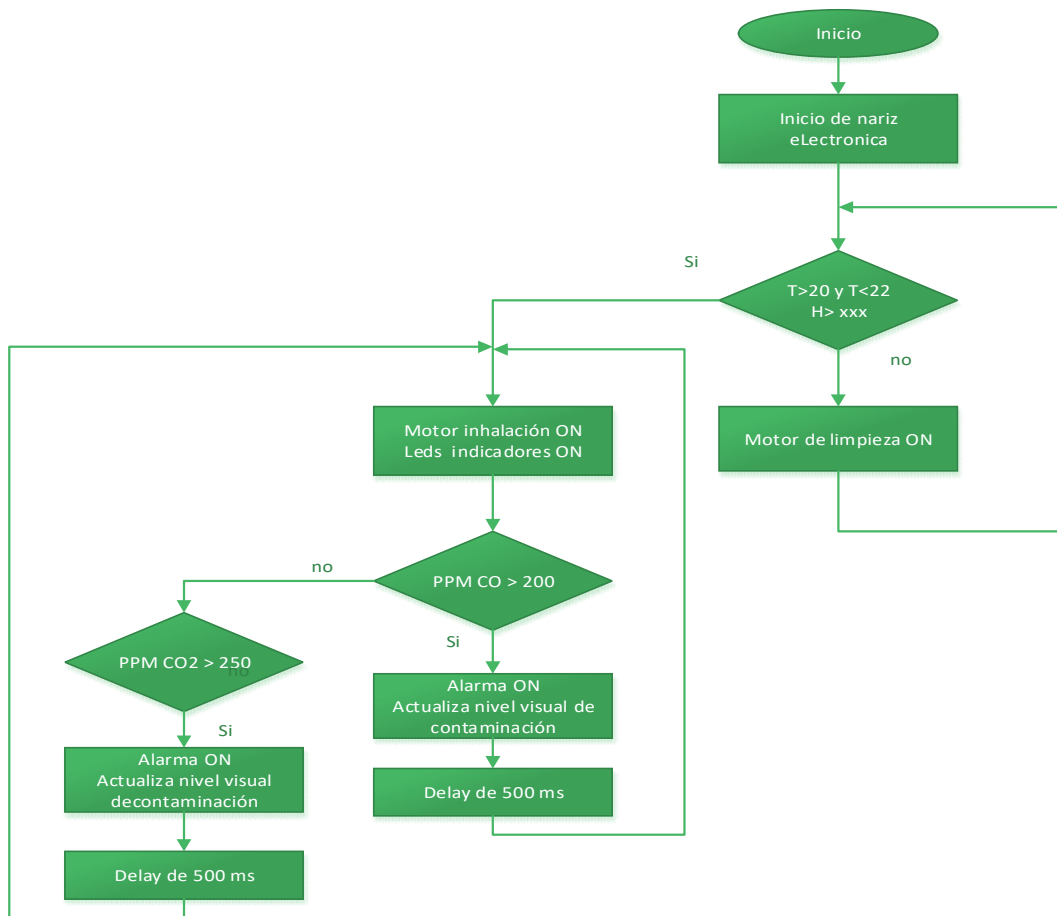


Figura 14 Diagrama de flujo del funcionamiento de la nariz electrónica.
Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2. Programación del software de control

Ahora que ya se tiene claro la idea del algoritmo de control se procede con el traslado de la idea al lenguaje C el cual es compilado en el software PICC COMPILER en donde se define antes de empezar los parámetros de configuración del PIC

En las siguientes líneas se agregará parte del lenguaje de programación detallando cada etapa. En la primera parte del software se inician los primeros parámetros antes de iniciar el código como son la elección del microcontrolador, configuración de la resolución en la que trabajará el PIC también la elección del reloj externo que se utiliza en el proyecto es 8 MHz. La habilitación del puerto C como toma de datos para el DHT11 y por último la declaración de las variables a utilizar en el prototipo

se utiliza variables de salidas de voltaje para cada sensor, las dos variables de las entradas analógicas y por ultimo las variables de conversión a PPM tal como muestra la figura 15.

```
#include <16F877a.h>
#fuses NOMCLR INTRC_IO
#use delay(clock = 8000000)

#use fast_io(C)
// pines de coneccion para el DHT11
#BIT Data_Pin = 0xF82.0 // Pin mapeado para el puerto PORTC
#BIT Data_Pin_Direction = 0xF94.0 // Pin del direccion mapeado para T

float voltco=0;
float voltco2=0;
int16 valor_adc0=0; //mq7
int16 valor_adc1=0; //mq135
char humedad;
char temperatura;
short Time_out;
unsigned int8 T_byte1, T_byte2, RH_byte1, RH_byte2, CheckSum;
```

Figura 15 configuraciones iniciales y declaración de variables
Fuente: Elaboración Propia.

La figura 16 inicia el bucle de programación para la toma de datos del DHT11, primero configuración del puerto como salida para enviar datos al sensor debido a que la toma de datos para temperatura y humedad es por un solo PIN el C0 del puerto es por ello que cada toma de datos es de 40 bits 16 bits de temperatura y 16 bits de humedad y 8 bits de paridad que en el caso de nuestro programa es el check sum.

```
void start_signal()
{
    Data_Pin_Direction = 0; // con figuracion de pines como salida
    Data_Pin = 0;
    delay_us(25);
    Data_Pin = 1;
    delay_us(30);
    Data_Pin_Direction = 1; // configuracion de pines como entrada
}

short check_response()
{
    delay_us(40);
    if(!Data_Pin) // lectura y prueba de la conexion del pin
        delay_us(80);
    if(Data_Pin) // lectura y prueba de la conexion del pin
        return 1;
}

unsigned int8 Read_Data()
{
    unsigned int8 i, k, _data = 0; // ka es usado para contar un bit durante
    break;
    for(i = 0; i < 8; i++){
        k = 0;
        while(!Data_Pin){
            k++;
            if(k > 100) {Time_out = 1; break;}
            delay_us(1);
        }
        delay_us(30);
        if(!Data_Pin)
            bit_clear(_data, (7 - i));
        else{
            bit_set(_data, (7 - i));
            while(Data_Pin){
                k++;
                if(k > 100) {Time_out = 1; break;}
                delay_us(1);
            }
        }
    }
    return _data;
}
```

Figura 16 algoritmo toma de datos del DHT11
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 17 se da inicio al bucle de luego de configura el oscilador a 8MHZ además de la configuración del reloj interno del converso ADC y por último el setup de conversor analógico a digital configurando los puerto de AN0 a AN2 como entradas analógicas para después luego ser convertidas y leídas por el canal ADC(0) para el monóxido de carbono y el ADC(1) para el dióxido de carbono y guardadas en sus respectivas variables de lectura.

```
void main(){
    SETUP_OSCILLATOR(OSC_8MHZ);
    SETUP_ADC(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    SETUP_ADC_PORTS(AN0_TO_AN2_ANALOG|VSS_VDD); //configuracion pines analogicos
    while(TRUE){
        SET_ADC_CHANNEL(0);
        delay_us(10);
        valor_adc0=read_adc();
        voltco = ((valor_adc0 / 1024.0)*5.0);
        delay_us(10);

        SET_ADC_CHANNEL(1);
        delay_us(10);
        valor_adc1=read_adc();
        voltco2 = ((valor_adc1 / 1024.0)*5.0);
        delay_us(10);
    }
}
```

*Figura 17 configuraciones de puertos analógicos y su conversor a analógico
Fuente: Elaboración Propia.*

Y en el último grafico de la figura 18 se observa en las primera líneas del algoritmo la lectura de datos del DHT11 primero de los 16 bits de lectura de humedad guardada en RH_byte1 y RH byte2 y también de los 16 bits de lectura de temperatura guardadas en T_byte1 y T_byte2, además de la lectura del Checksum para luego realizar la condición de lectura final y guardarlos en las variables temperatura y humedad. Después de haber guardados los valores leídos se realiza las primeras condiciones del programa, en primer lugar antes de realizar la toma de una muestra se realiza la consulta si en la cámara de sensores los valores de temperatura y humedad son óptimos para los sensores MQ, es decir se encuentran dentro del intervalo de temperatura de 18° y 22° grados Celsius y para la humedad un intervalo de 60% y 70%, si en caso fuera cierto enciende el sistema de absorción y comienza a ingresar a las otras condiciones de lectura de nivel de contaminación en caso contrario enciende el ventilador de purga de la cabina de sensores y extrae la humedad y la vez mantiene la temperatura; el primer caso seria los valores de

voltajes en las entradas analógicas para el puerto AN0(monóxido de carbono) se encuentran dentro del intervalos de voltaje 2.7 y 3.5 o para las entradas analógicas AN1(dióxido de carbono) se encuentran entre 2.6 y 3.0 envía una señal por los puertos D6 y D7 para la cinta led RGB para la combinación de color AMBAR que significa alerta y al vez envía una señal al buzzer, el segundo caso es cuando los valores de voltaje en la entrada analógicas del monóxido de carbono es mayor a 2.7 o para el dióxido de carbono es mayor a 3.0 aquí en cualquiera de los situaciones de lectura envía el mensaje luminoso de color rojo en la cinta RGB y enciende la alarma y por último se encuentra cuando los valores de monóxido y dióxido de carbono están por debajo de 2.7v y 2.6v cambia a color verde la iluminación.

```

Start_signal();
if(check_response()){
    RH_byte1 = Read_Data();           // If there is response from sensor
    RH_byte2 = Read_Data();           // read RH byte1
    T_byte1 = Read_Data();            // read RH byte2
    T_byte2 = Read_Data();            // read T byte1
    Checksum = Read_Data();           // read T byte2
    // read checksum
    if(CheckSum == ((RH_Byte1 + RH_Byte2 + T_Byte1 + T_Byte2) & 0xFF)){
        temperatura = T_Byte1;
        humedad = RH_Byte1;
        if (((temperatura>18)&&(humedad>60))&&((temperatura<=22)&&(humedad<=70)))
        {
            if (((voltco>2.7)&&(voltco<=3.5))||((voltco2>2.6)&&(voltco2<=3.0)))
            {
                output_d(0b11001011); //alarma on puerto led rgb encendido para comb
                delay_ms(500);
            }
            else if ((voltco>3.5)||((voltco2>3.0))
            {
                output_d(0b01001011); //alarma on puerto led rgb rojo encendido
                delay_ms(500);
            }
            else if ((voltco<=2.7)&&(voltco2<=2.6)) // led rgb verde encendido
            {
                output_d(0b10001010); //alarma off
                delay_ms(500);
            }
        }
    }
}
else
    output_d(0b00010100);

```

Figura 18: bucle de programación principal
Fuente: Elaboración Propia.

3.5. Diseño de hardware electrónico.

En la simulación y creación del hardware electrónico se seleccionó entre 3 tipos de programas de diseño electrónico el primero es el software de National instrument conocido como Multisim, el segundo es el más utilizado en el simulación y creación de placas PCB en un entorno muy amigable para el usuario, el software pertenece al Labcenter Electronics cuyo nombre es Proteus y por ultimo está el

software livewire que utilizado para diseño y simulación de circuitos además también tiene como complemento PCB wisard que es utilizado para diseñar placas electrónicas.

Multisim

Multisim es un software de la empresa National Instrument en el cual se puede realizar simulaciones de circuitos, asimismo cuenta con una amplia librería de componente electrónico además de distinto instrumento virtuales de medición como por ejemplo osciloscopios generadores de voltajes, es un software muy completo respecto a instrumentos de simulación virtual, lo cual es necesario para el proyecto como se observa en la figura 19.

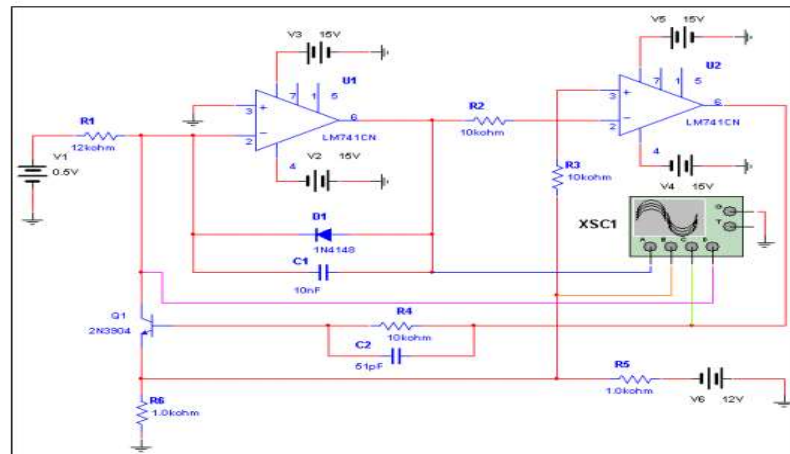


Figura 19 Esquemático de simulación de software Multisim 12
. Fuente: NI User Manual: 2009

Livewire y PCB Wizard

Es un instrumento de simulación virtual que permite realizar prueba de circuitos antes de ser implementados de manera física, su entorno es muy sencillo e intuitivo, para la implementación virtual solo se incluye cada componente por medio de arrastre en dirección al área de trabajo. Su librería no es muy amplia pero tiene lo necesaria para realizar pruebas de aprendizaje además con su complemento PCB wizard luego de realizar la pruebas necesarias de funcionamiento su puede crear las placas electrónicas para pruebas reales como lo detalla la figura 20.

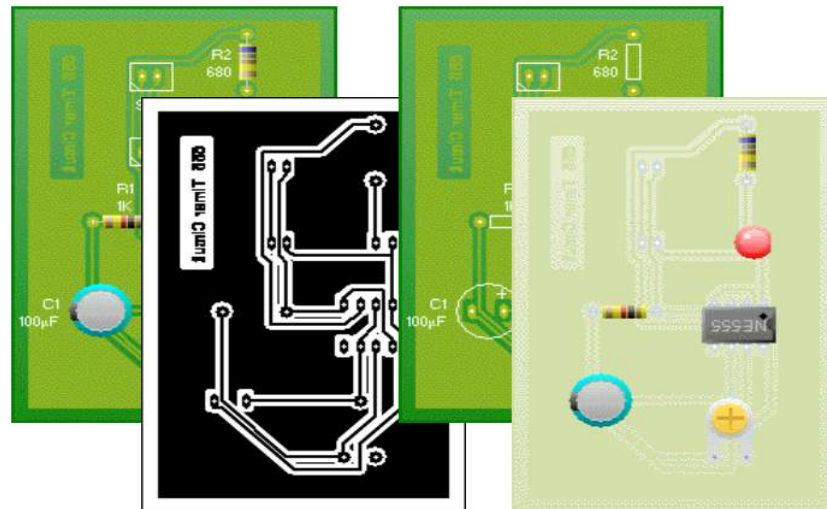


Figura 20 Distintas capas de diseño electrónico en Livewire y pcb wizard.
Fuente: New wave concepts:

Proteus 8.6

Creado por Labcenter Electronics, es un software de simulación de circuitos muy completo además te permite desarrollar esquemas electrónicos y su diseño de placa electrónica PCB. Proteus está conformado por dos programas uno para diseño esquemático y simulación llamado ISIS y el segundo ARES para el diseño de la placa PCB.

Las bondades del programa ISIS es más allá de la simulación cuenta con una amplia gama de librerías y herramientas virtuales de medición, además también permite realizar programación de microcontroladores en el mismo software en lenguaje C y Asembler además de otros, lo cual magnifica más al programa incluyendo librerías de Arduino. El segundo sub programa es el de creación de placas llamado ARES que te permite realizar el enrutamiento manual y automático, además te permite editar componentes electrónicos.

Debido a su entorno amigable y múltiples características Proteus en su versión 8.6 es el software que cumple con las herramientas necesarias para el diseño electrónico y simulación del nuestro proyecto.

Para el diseño del circuito electrónico es necesario el software cuente con librerías de microcontroladores PIC 16f87X además que reconozca el archivo HEX resultado

de la compilación del algoritmo de programación realizado anteriormente. A continuación se realizara el diseño de la simulación como se muestra en la figura 21 el esquema de simulación del circuito electrónico en donde le puerto B está configurado como salida indicadora y el puerto D como señales hacia los motores y los potenciómetros con etiquetas CO y CO2 simulan ser la resistencia interna variable del sensor MQ7 y MQ135.

Además de contener de los periféricos luminosos como es el LED PIXEL RGB los que varían de acuerdo al nivel de contaminación.

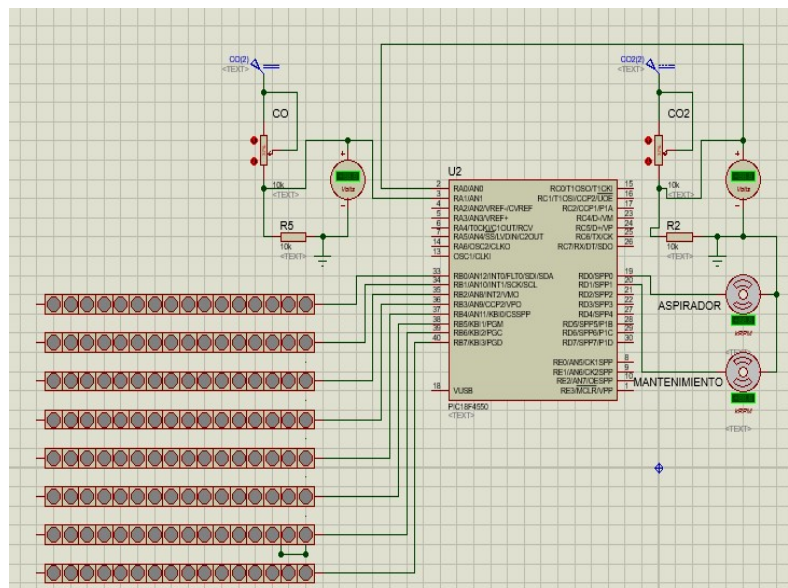


Figura 21 Esquema de simulación de la nariz electrónica.
Fuente: Elaboración Propia.

3.5.1. Diseño de la placa de control

En la realización del diseño de la placa de control se tiene que tener el esquema del circuito no simulado como se muestra en la figura 22 en donde se realizan las conexiones a tierra y a positivo para el diseño, además de las borneras de algunos componentes externos.

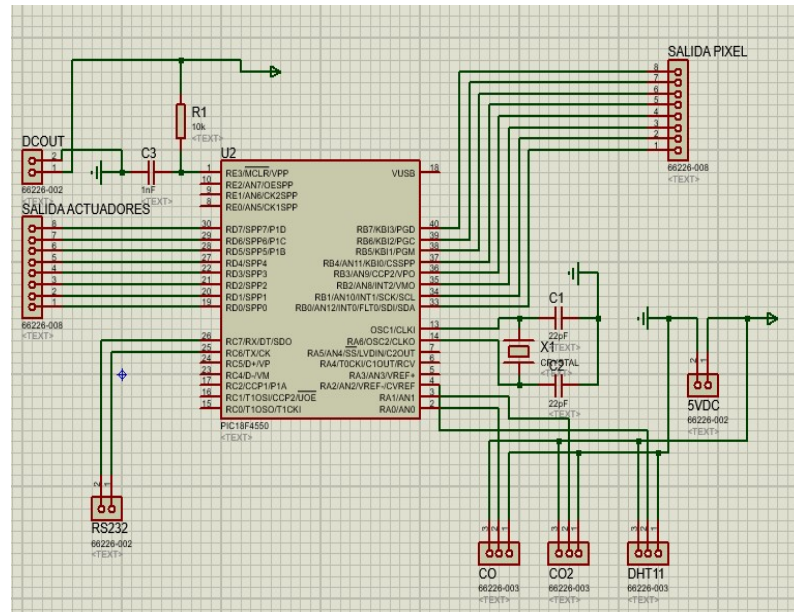


Figura 22 Esquema de la figura necesaria para enviar a PCB.
Fuente: Elaboración Propia.

En el diseño simulación tomando en cuenta en el ruteo de las pistas los valores de corriente que circulan en la por cada línea del circuito en el caso de la placa de control es menor a 500 mA, las dimensiones de la placa de control es de 60 mm por 90 mm de la placa de control se usa el software ARES con el los mismos componentes de ISIS y como se puede ver en la figura 23 no es necesario realizar un circuito de doble capa debido a que no es un circuito de mucha complejidad además la gran mayoría son componentes externos los cuales irán conectados mox como se aprecia en la figura 24 en el circuito 3D .

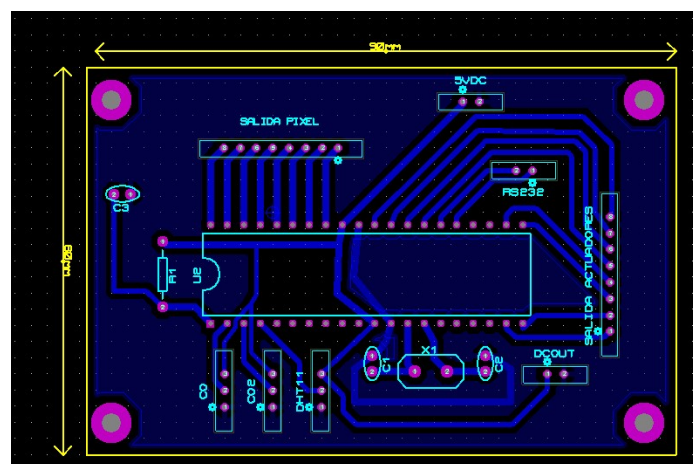


Figura 23 Diseño virtual del circuito PCB en Proteus ARES.
Fuente: Elaboración Propia.

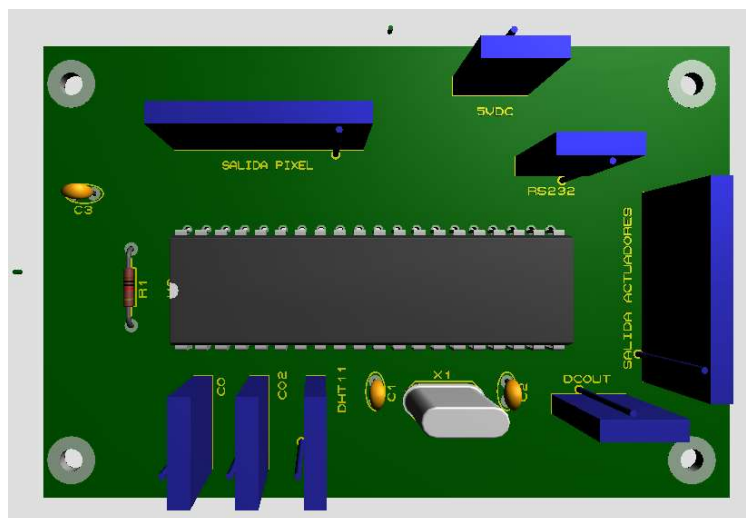


Figura 24 Diseño 3D del circuito PCB en Proteus ARES.
Fuente: Elaboración Propia.

3.6. Diseño estructural

Uno de los objetivos del presente proyecto, es el de diseñar un dispositivo que armonice, en su estructura, con el entorno donde será instalado; el diseño propuesto permitirá almacenar en su interior todos los componentes necesarios para el correcto funcionamiento de la nariz electrónica, distribuidos de tal forma que la carcasa que los cubra tenga un diseño funcional y agradable a la vista. La nariz electrónica constará de varias etapas o bloques los cuales serán detallados a continuación.

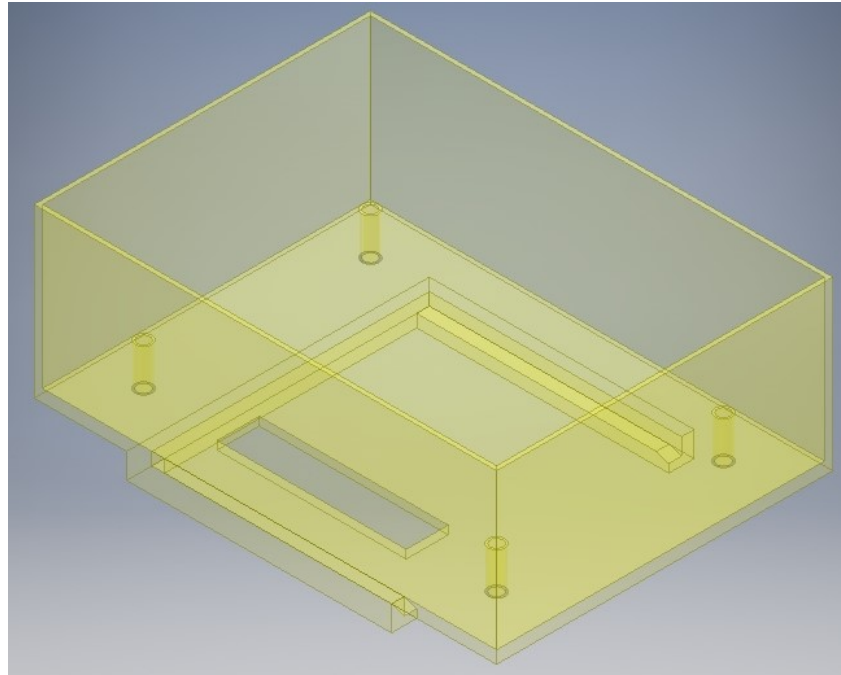
3.6.1. Bloque del procesador

El bloque del procesador abarcará una placa de pcb cuyas dimensiones están establecidas en el apartado diseño de placa de control. La estructura será una caja rectangular que dejara 1 cm libre por cada lado de la placa, es decir es de 110*80mm su altura será de 40mm y no tendrá tapa.

En la parte inferior del bloque habrá una rendija de 10*45mm cuya función es la de servir de interfaz con la cámara de sensado. Por debajo de la estructura se incluirá unos rieles en donde se anclará la cámara de sensado.

La sujeción de la placa con la estructura será a través de separadores #6-32 UNC y sus respectivos pernos de sujeción.

El diseño del bloque del procesador se puede apreciar en la figura 25.



*Figura 25 Bloque del procesador.
Fuente: Elaboración Propia.*

3.6.2. Bloque de cámara de sensado

El bloque de la cámara de sensado incluirá una placa de pcb con los sensores de gas y temperatura, el diseño será una caja de dimensiones 60*60*40mm. Contará con dos pestañas salientes en la parte superior, las mismas que le servirán para anclarse con el bloque del procesador.

La unión entre la placa y la estructura será mediante separadores y pernos de sujeción del tipo #6-32 UNC

En los laterales tendrá 2 orificios, el primero es rectangular con medida 17*15mm, el segundo es circular con un diámetro de 32mm. Ambos agujeros serán para conectar los ventiladores a la cámara de sensado, uno de forma vertical y otro de forma horizontal.

El diseño del bloque está representado en la figura 26.

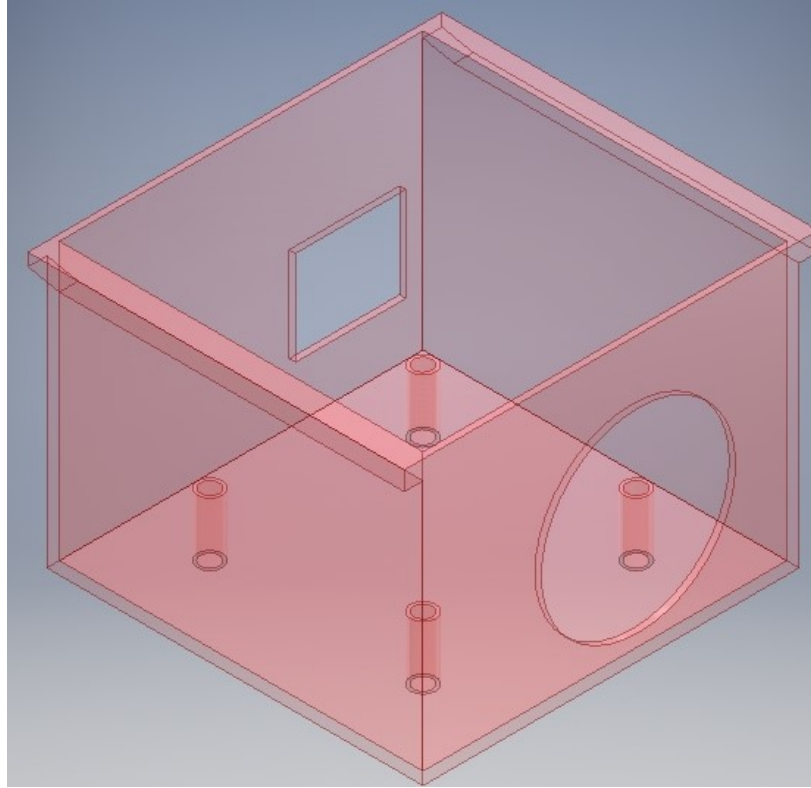


Figura 26 Cámara de sensado.
Fuente: Elaboración Propia.

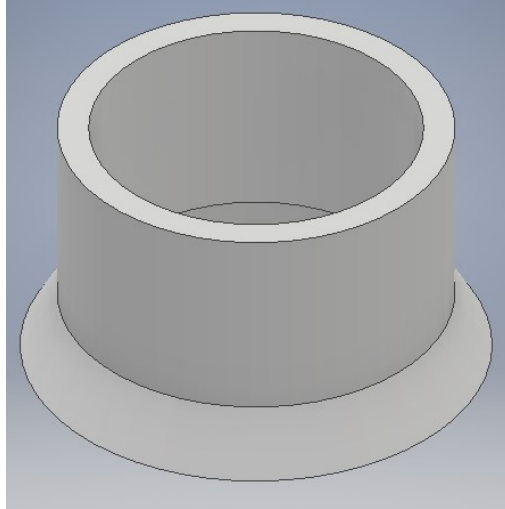
3.6.3. Conducto de aspiración

El conducto de aspiración servirá de nexo entre el ventilador que ingresa el aire a la cámara de sensado, y el exterior, el diseño y dimensiones corresponden a la figura 9 y la ecuación (35) respectivamente.

El diámetro D será equivalente al orificio de entrada de aire del ventilador, es decir, 32mm; al reemplazar D en la ecuación (35) tenemos:

$$D_r = D + \frac{D\sqrt{3}}{9} = 32 + \frac{32\sqrt{3}}{9} = 38.1584mm$$

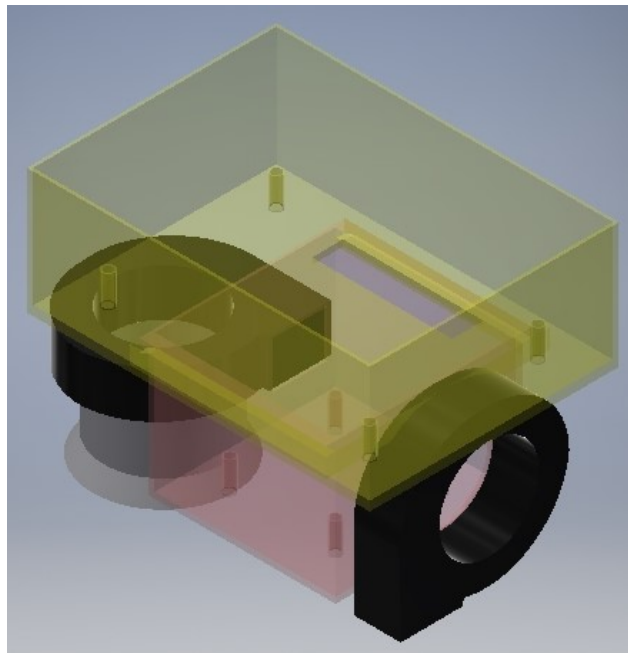
La figura 27 muestra cómo se vería el diseño del conducto.



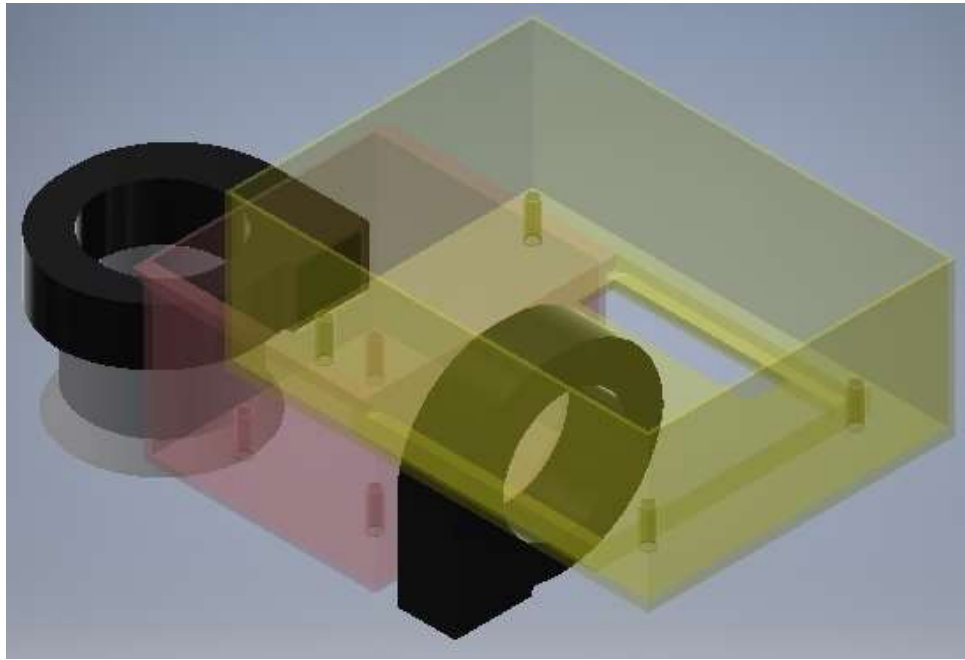
*Figura 27 Conducto de ventilación.
Fuente: Elaboración Propia.*

3.6.4. Carcasa

La estructura que cubra tanto los bloques descritos previamente, como a los ventiladores tendrá forma de cilindro achatado con la parte inferior ligeramente cónica. El interior de la carcasa debe albergar lo representado en la imagen 28, que son los elementos descritos anteriormente en su forma acoplada, el desanclaje de la cámara de sensado se ilustra en la figura 29.



*Figura 28 Ensamble interior de bloques.
Fuente: Elaboración Propia.*

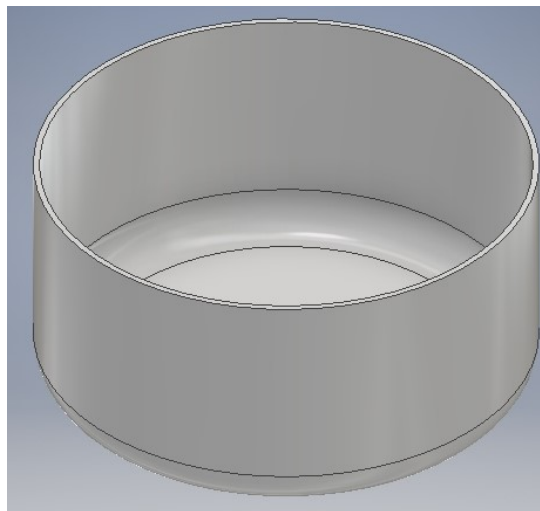


*Figura 29 Ensamble con desacople de cámara de gases.
Fuente: Elaboración Propia.*

La salida del conducto de ventilación debe estar centrada con respecto al cilindro de la carcasa.

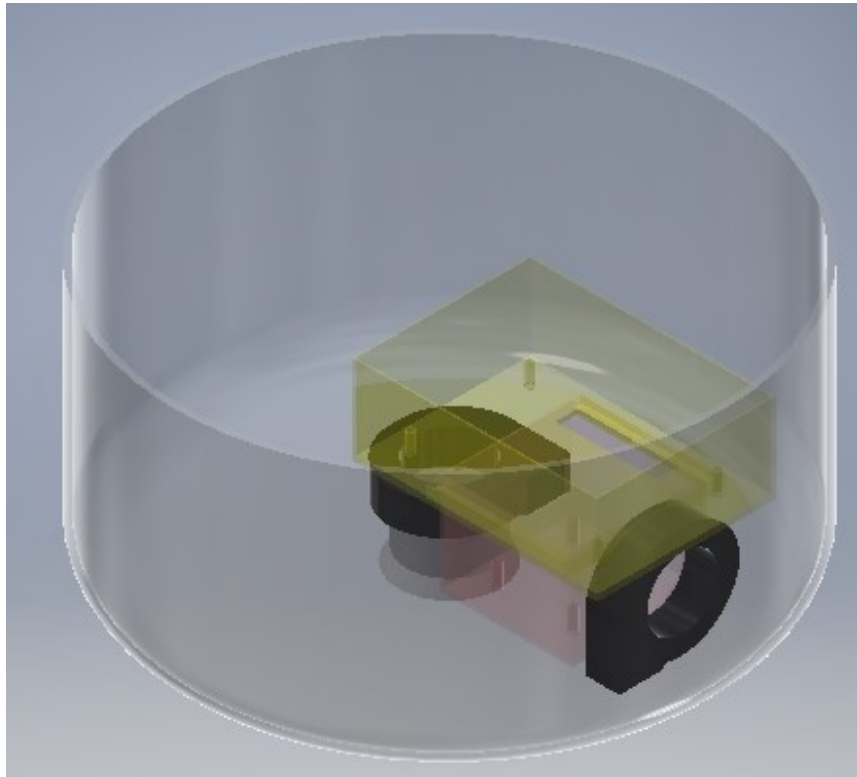
En los bordes interiores de la carcasa se instalarán las tiras led para la iluminación del dispositivo.

El domo está representado en la imagen 30



*Figura 30 Domo carcasa.
Fuente: Elaboración Propia.*

El ensamble total está representado en la figura 31



*Figura 31 Ensamble total.
Fuente: elaboración propia*

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

El análisis y las diferentes pruebas realizadas se realizaron de manera virtual utilizando software de simulación como Proteus 8.6 y de manera física, utilizando el microcontrolador propuesto de microchip, pero también con el microcontrolador atmega incluido en arduino dada su facilidad de desarrollo.

4.1. Pruebas en los sensores

El diseño de nariz electrónica propuesto, cuenta con 3 sensores, el primero de ellos es el DHT11 sensor de temperatura y humedad, su función es la de monitorear y mantener, con ayuda de los ventiladores, una temperatura y humedad aceptable en la cámara de sensores, para ello se realizó un programa de prueba en el que se compara la temperatura ambiente y se activa un diodo led rojo si la temperatura es menor a 25°C o se activa un led verde si es mayor a ella como lo indica la figura 32.

Para verificar que el sensor realiza una buena lectura se comparó con un multítester y su extensión de temperatura como lo podemos apreciar en la figura 33.

Al aumentar la temperatura ambiente mediante una fuente externa se verificó que el sensor trabaja de manera óptima como lo indica la figura 34.

```

72  T_byte1 = Read_Data();           // read T byte1
73  T_byte2 = Read_Data();           // read T byte2
74  Checksum = Read_Data();          // read checksum
75  if(Checksum == (RH_Byte1 + RH_Byte2 + T_Byte1 + T_Byte2))
76  {
77      message1 = T_Byte1;
78      //message1[8] = T_Byte1%10;
79      //message1[10] = T_Byte2/10;
80      message2 = RH_Byte1;
81      //message2[8] = RH_Byte1%10;
82      //message2[10] = RH_Byte2/10;
83      //message1[11] = 223;           // Degree symbol
84      if(message1 >= 25)
85          //printf("estable \r\n");
86          output_d(0b00000001);
87      else
88          //printf("falta calibrar\r\n");
89          output_d(0b00000010);
90  }
91  else
92      printf("error");

```

Figura 32 Programa de prueba DHT11.
Fuente: Elaboración propia.

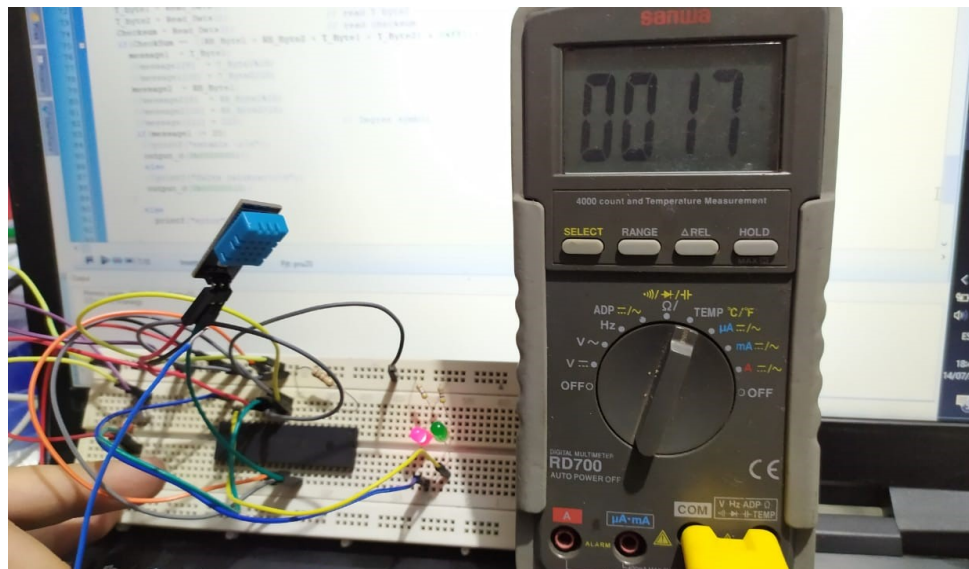


Figura 33 Lectura menor a 25°C indicador led rojo.
Fuente: Elaboración propia.

Así queda comprobado el correcto trabajo del sensor DHT11 y el software desarrollado que formara parte del programa principal.

Los sensores restantes son los que le dan nombre al proyecto, los MQ-7 y MQ-135 sensores de monóxido de carbono, dióxido de carbono y calidad de aire; la prueba realizada en ellos incorpora el uso del software arduino el cual realiza una lectura analógica de las mismas, los módulos adquiridos sufrieron algunos cambios de

hardware con la finalidad de mejorar la señal analógica. Para las pruebas de lectura se estudiaron 3 escenarios, ventilado, parcialmente saturado y contaminado. En el primero de ellos los sensores arrojaron una tensión de 1.59 V; un rango que bordea los 1.7 V para la segunda escena y para una muestra contaminada, se supera los 2.2 V, todo esto se representa en la figura 35.

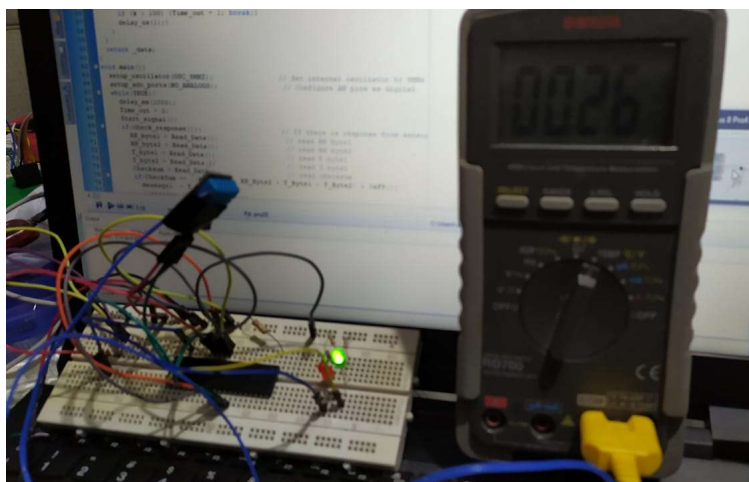


Figura 34 Lectura mayor a 25°C indicador led verde.
Fuente: Elaboración Propia.

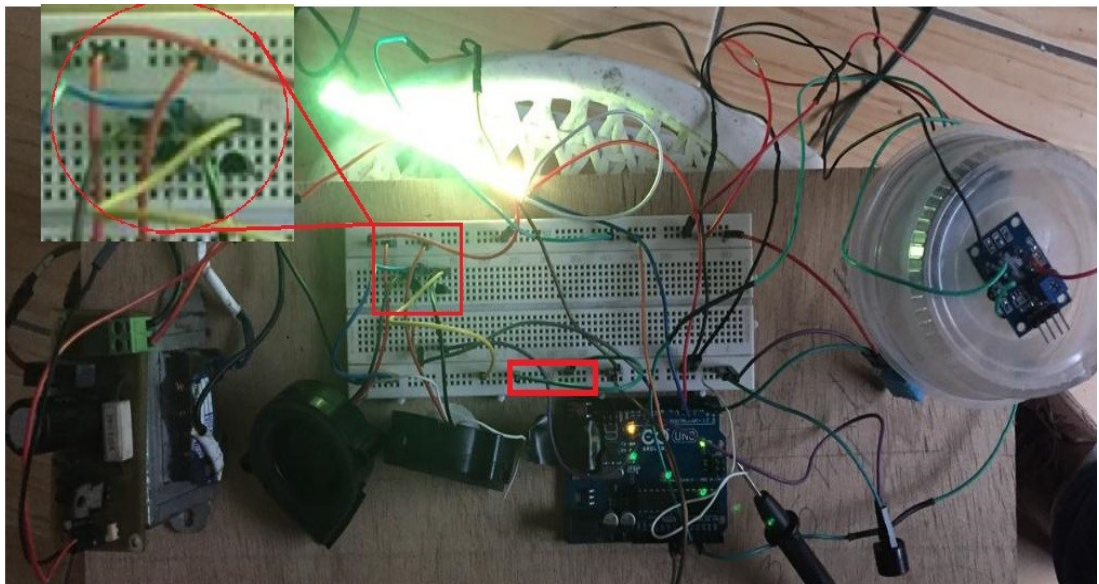
	MQ-7	MQ-135
Escena 1		
Escena 2		
Escena 3		

Figura 35 Prueba de sensores MQ.
Fuente: Elaboración propia.

4.2. Pruebas del software y hardware

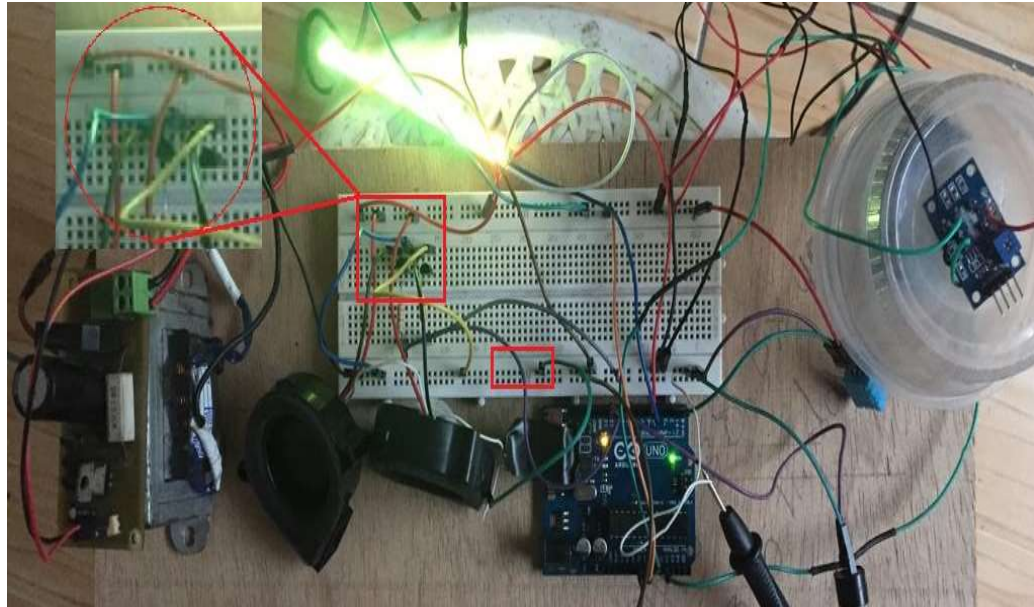
El desarrollo del software sigue los parámetros del diagrama de flujo presentado en la figura 14. Para ello se incorporó las porciones de código elaboradas para las pruebas de los sensores. El programa se desarrolló en primer lugar con arduino, debido a su facilidad de programación y simulación, se procedió a ensamblar los diferentes dispositivos con la ayuda de un protoboard y se realizaron las pruebas de los diferentes escenarios obteniendo buenos resultados en el cambio de coloración de la tira de led, señal que el algoritmo de comparación de parámetros está bien establecido. Sin embargo se detectaron deficiencias en la iluminación de los leds y el arranque de los ventiladores.

En las figura 36 y 37 se puede observar que la conexión de los ventiladores es de la fuente de 12 V al colector del transistor, y el emisor completa la señal conectándose a tierra, esta configuración tiene dos variaciones, la primera, en la figura 36, muestra la unión de la tierra de 5 V con la de 12 V, esto genera una definición aceptable de los colores buscados y un funcionamiento moderado de los ventiladores, todo ello debido al flujo de corriente entre un sistema y otro.



*Figura 36 Prueba de ventiladores conectados a colector y tierra común entre 5 y 12 V.
Autor: Elaboración propia.*

En la figura 37 se utilizó la misma conexión de ventiladores pero se desconectó las tierras entre 5 y 12 V. observándose que la definición en los colores de la cinta led disminuyó y la intensidad del giro de los ventiladores aumento considerablemente, a tal punto que casi no se detenían entre procesos de captura de datos.



*Figura 37 Prueba de ventiladores conectados a colector y tierras separadas entre 5 y 12 V.
Fuente: Elaboración propia.*

Luego se realizó una tercera prueba, esta vez se conectó el colector del transistor a 12 V. y el emisor al ventilador, también se optó por desconectar las tierras de ambos sistemas como se aprecia en la figura 38.

Con esta configuración se llegó a un optima definición de los colores de la cinta led, permitiendo diferenciar con facilidad entre ellos, a su vez los ventiladores trabajaron a una velocidad moderada y aceptable.

Como prueba final del sistema con Arduino, se procedió a medir los valores en tensión de los sensores para verificar que cumplan con las condiciones del programa detalladas en la figura 39

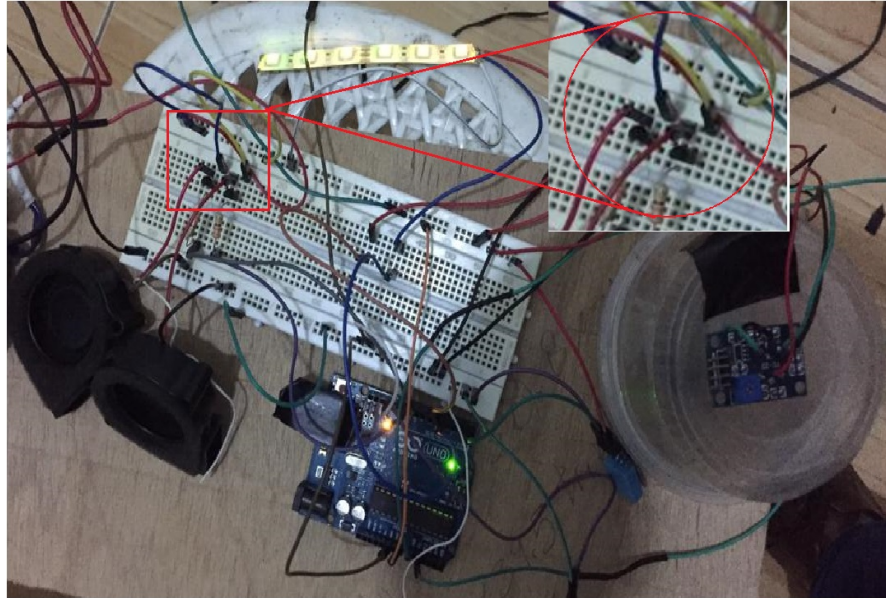


Figura 38 Prueba de ventiladores conectados a emisor y tierras separadas entre 5 y 12 V.
Fuente: Elaboración propia.

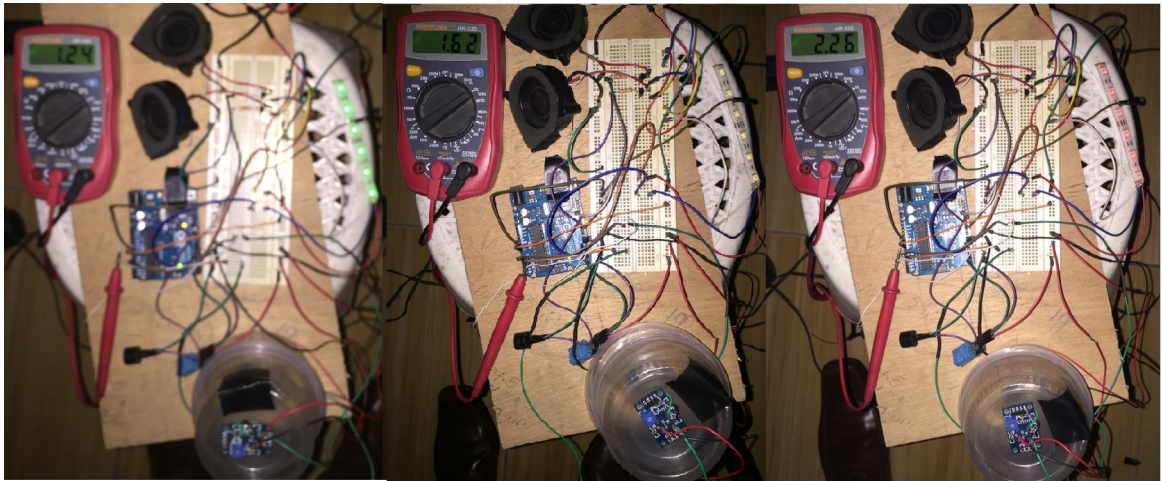
```

if ((mq7<=1.6)&&(mq135<=1.6)){
  analogWrite(ledVerde,0);
// analogWrite(ledAzul,0);
  analogWrite(ledRojo,255);
  digitalWrite(buzer,LOW);
  desfogue();
}
else if ((mq7>1.6)&&(mq7<=2.2)) || ((mq135>1.6)&&(mq135<=2.0)){
  analogWrite(ledVerde,0);
  analogWrite(ledRojo,50);
// analogWrite(ledAzul,0);
  digitalWrite(buzer,LOW);
  desfogue();
}
else if ((mq7>2.2) || (mq135>2.0)){
  analogWrite(ledRojo,0);
// analogWrite(ledAzul,0);
  analogWrite(ledVerde,255);
  digitalWrite(buzer,HIGH);
  desfogue();
}

```

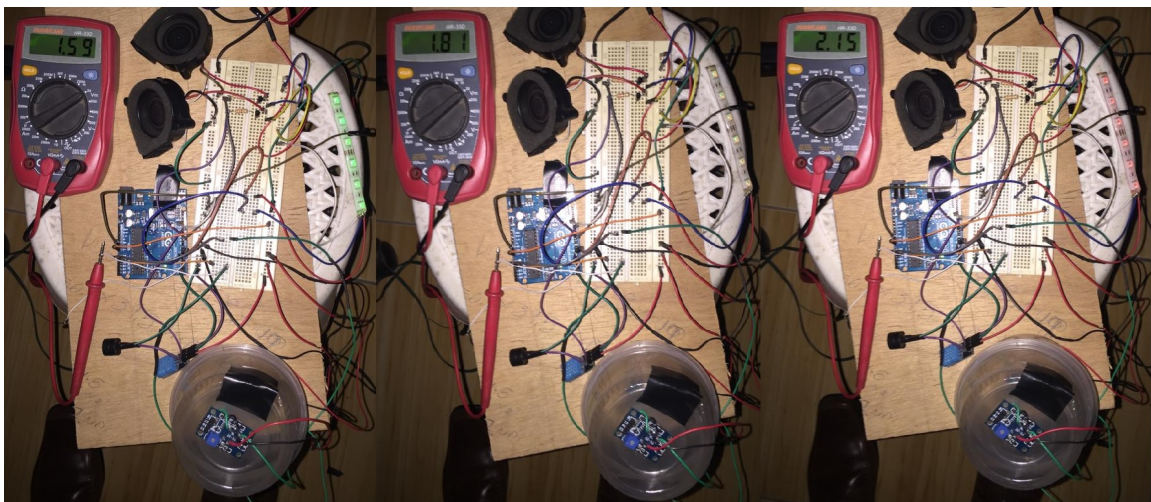
Figura 39 Algoritmo para diferenciar los diferentes escenarios con Arduino.
Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar se realizaron las mediciones del sensor MQ-7, observando que los valores encontrados cumplen con los rangos establecidos para cada escenario, esto se refleja en la figura 40.



*Figura 40 Prueba del MQ-7 en los diferentes escenarios.
Fuente: Elaboración propia.*

De la misma forma se realizaron mediciones al sensor MQ-135 observando resultados similares expresados en la imagen 41.



*Figura 41 Prueba del MQ-135 en los diferentes escenarios.
Fuente: Elaboración propia.*

Una vez comprobado el funcionamiento del sistema en físico y del algoritmo planteado se procedió a traspasar el programa al microcontrolador. Inicialmente simulando el software con Proteus como lo indica la figura 42.

Luego realizando las pruebas en físico, simulando los tres escenarios propuestos saturando levemente las muestras, inicial mente los sensores detectaron el ambiente. Figura 43.

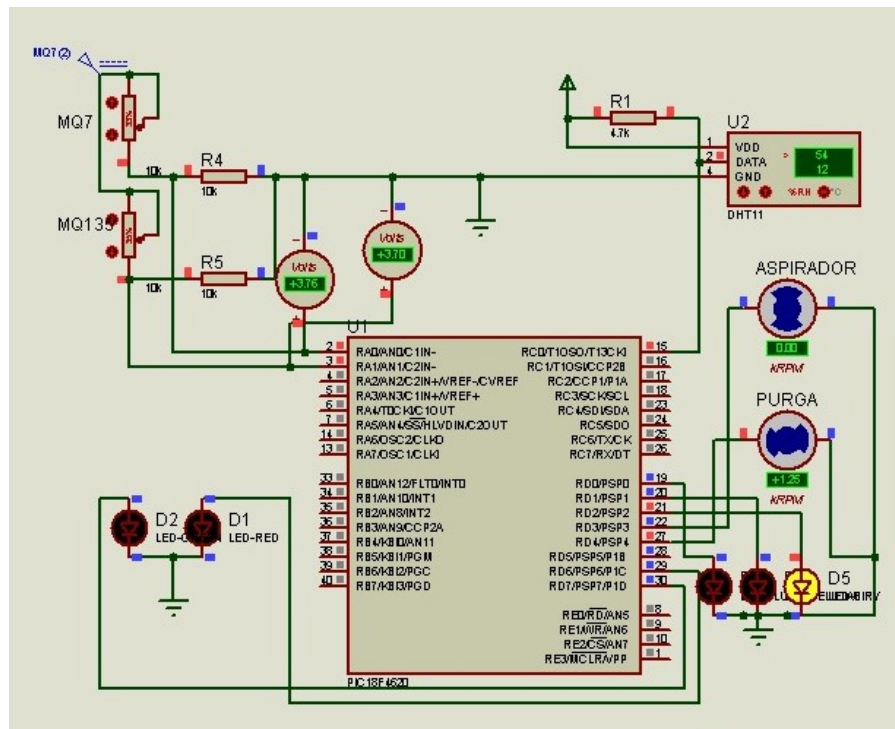


Figura 42 Prueba en Proteus.
Fuente: Elaboración propia

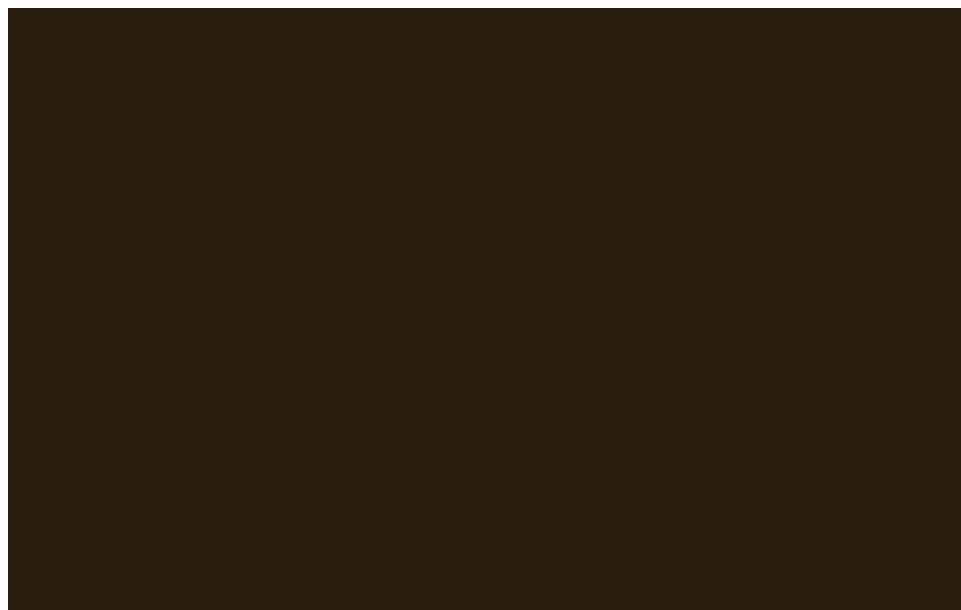


Figura 43 Prueba física escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

Para el segundo escenario se usó el CO emanado por el humano mediante el aliento. Figura 44.



*Figura 44 Prueba física escenario 2.
Fuente: Elaboración propia*

Por último se encerraron los sensores sobresaturando la muestra. Figura 45.



*Figura 45 Prueba física escenario 3.
Fuente: Elaboración propia*

Para finalizar, se elaboró la tabla 4 en donde se aproxima los costos en el mercado, de los diferentes dispositivos a utilizar mostrando el bajo costo planteado.

Tabla 4 Cuadro de costos

	costos		costo unitario	costo por cantidad de item
1	microcontrolador	1	S/15.00	S/15.00
2	cristal	1	S/1.00	S/1.00
3	capacitores	2	S/0.50	S/1.00
4	mq7	1	S/11.00	S/11.00

5	mq135	1	S/12.00	S/12.00
6	placa impresa	2	S/15.00	S/30.00
7	cables	5	S/0.20	S/1.00
8	ventiladores	2	S/5.00	S/10.00
9	cabina de sensores	1	S/5.00	S/5.00
10	trompa	1	S/2.00	S/2.00
11	resistencias	2	S/0.10	S/0.20
12	sistema de alarma	1	S/1.00	S/3.00
13	CintaLed RGB	1	S/10.00	S/10.00
14	transistores	2	S/0.80	S/1.60
	costo total			S/102.80

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El diseño y desarrollo de la nariz electrónica planteado en el presente trabajo de investigación nos abre las puertas hacia muchas aplicaciones posibles, el bajo costo propuesto se vio reflejado en los dispositivos utilizados y la aplicación propuesta para la detección de gases contaminantes fue solucionada por los sensores elegidos.

Para detectar los contaminantes del ambiente se optó por utilizar ventiladores centrífugos para la captura de las partículas, esto nos facilitó la toma de muestras debido a que los sensores se encontraban en una cámara cerrada para evitar las perturbaciones en la toma de datos.

Al insertar un tercer sensor, el DHT11, se pudo obtener información del ambiente en que trabajan los sensores, tanto en temperatura como en humedad, esto fue de mucha ayuda para realizar un control de lazo cerrado que garantice un ambiente de trabajo óptimo para los sensores.

El diseño estructural propuesto cumple con no interrumpir en la estética de la habitación en donde se use y a su vez permite que en su interior se distribuya de manera eficiente los circuitos electrónicos diseñados.

La calibración realizada a los sensores MQ permitió obtener resultados fiables para los diferentes escenarios de contaminación, garantizando así que la toma de datos y los valores comparados en el programa son aceptables para los objetivos planteados.

RECOMENDACIONES

Debido a que los ventiladores y la tira led trabajan a 12 V, es recomendable transitorizarlos para así optimizar el consumo de corriente para cada dispositivo, así como el control sobre ellos mismos y la protección del microcontrolador.

Es posible hacer mejoras en el diseño estructural de la captura de datos, con la finalidad de captar con mayor eficacia las partículas del ambiente.

El diseño planteado solo ofrece una interacción con el usuario de manera visual, como un semáforo, y sonora con un buzzer, sin embargo una pequeña pantalla en el interior del dispositivo que muestre los valores de temperatura, humedad u otros parámetros ayudaría para el monitoreo de la cámara de sensado.

La interacción con el usuario también podría incluir el envío de información de manera inalámbrica, pudiendo enlazarse con una aplicación y así extender las alertas, facilitando la reacción de prevención del usuario.

El diseño planteado procura ser autónomo, sin embargo la posibilidad de comunicarse con otros sistemas actuadores que realicen labores como ventilación, apertura de

ventanas, extractores de aire, etc. Crearían un sistema integrado de control de calidad de ambientes cerrados que beneficiaría en gran manera al usuario.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez alvarado, M. S. A. A. (2012, 10 marzo). *Modelo matemático de un motor de corriente continua separadamente excitada: Control de velocidad por corriente de armadura*. Recuperado 31 mayo, 2019, de http://www.lajpe.org/mar12/25_LAJPE_611_Manuel_Alvarez_preprint_corr_f.pdf

Chicaiza, N. G., & Reyes, F. J. (2013, 5 noviembre). Diseño y construcción de un módulo de entrenamiento basado en el microcontrolador XMEGA de ATMEL para los laboratorios de sistemas microprocesadores de la Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado 30 junio, 2019, de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5166>

Durán, C. & Torres, I. (2013). *Desarrollo de un sistema embebido con tecnología DSP para un sistema multisensorial (Nariz electrónica)*. ITECKNE, 11(1). Recuperado en: [\[https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4991615.pdf\]](https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4991615.pdf)

Durán, C., Velásquez, A., & Gualdrón, O. (2012). *Implementación de una nariz electrónica para detectar pacientes con EPOC desde el aliento exhalado*. Ingeniería y Desarrollo, 30(2). Recuperado en: [\[http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v30n2/v30n2a02.pdf\]](http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v30n2/v30n2a02.pdf)

Gonzales, G. F., & Steenland, K. (2014). La Salud Ambiental en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(2), 398–399. Recuperado de <https://scielosp.org/pdf/rpmesp/2014.v31n2/398-399/es>.

Gualdrón, O., Durán, C., Araque, J., & Ortiz, J. (2014). *Implementación de un modelo neuronal en un dispositivo Hardware (FPGA) para la clasificación de compuestos químicos en un sistema multisensorial (Nariz Electrónica)*. Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas. Recuperado en: [\[http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/download/2347/1146\]](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/download/2347/1146)

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD. (s.f.). TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR. Recuperado 31 mayo, 2019, de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>

Li, B., Li, Z., & Li, Q. (2017). The Design of Intelligent Heat Dissipator Control Circuit. *Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Materials Science, Machinery and Energy Engineering (MSMEE 2017)*, . <https://doi.org/10.2991/msmee-17.2017.206>

Microchip Technology Inc. (2004). PIC16F87XA Data Sheet [Datasheet]. Recuperado 18 julio, 2019, de <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>

Ministerio del Ambiente Perú. (2016). *Informe Nacional de la Calidad de Aire 2013-2014*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>

Montenegro, A., Trejos, M., & Araúz, C. (2015). *Nariz electrónica inalámbrica móvil con monitoreo en tiempo real*. Revista de Iniciación Científica, 1(12). Recuperado en: [\[http://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/450/446\]](http://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/450/446)

Morales, O., Valiente, R., Lambert, B., et al. (2015). *Desarrollo de una instalación para la detección de olores*. ResearchGate. Recuperado en: [\[https://www.researchgate.net/profile/Rodolfo_Valiente_Romero/publication/316014751_Development_of_a_system_for_odor_detection/links/58ed97590f7e9b37ed14f377/Desarrollo-de-una-instalacion-para-la-deteccion-de-olores-Development-of-a-system-for-odor-detection.pdf\]](https://www.researchgate.net/profile/Rodolfo_Valiente_Romero/publication/316014751_Development_of_a_system_for_odor_detection/links/58ed97590f7e9b37ed14f377/Desarrollo-de-una-instalacion-para-la-deteccion-de-olores-Development-of-a-system-for-odor-detection.pdf)

National Instruments Corporation. (2009b, 5 enero). NI Multisim™ User Manual. Recuperado 30 junio, 2019, de <http://www.ni.com/pdf/manuals/374483d.pdf>

OSEPP Electronics. (s.f.). *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*. Recuperado de <https://www.mouser.com/ds/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>

Rashid, M. H. (2000). *Circuitos Microelectrónicos Análisis y Diseño*. México D. F., México: International Thomson Editores.

Rubio, J., Hernández, J., Ávila, F., Stein, J., & Meléndez, A. (2015). *Sistema sensor para el monitoreo ambiental basado en redes neuronales*. Ingeniería Investigación y Tecnología, 17(2). Recuperado en: [\[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432016000200211&script=sci_arttext\]](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432016000200211&script=sci_arttext)

Salvador Escoda S.A.. (1998). *Manual Práctico de Ventilación* (2ª ed.). Recuperado de <https://www.salvadorescoda.com/tecnico/VE/Manual-Ventilacion.pdf>

Vásquez, T. (2013). *Integración de una nariz electrónica Ultra-Portátil en un robot modular para el control de su movimiento a través de los odorantes recibidos*. Universidad Autónoma de Madrid. Recuperado en: [\[https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/12764/61488_20130419TomasVazquezRubio.pdf?sequence=1\]](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/12764/61488_20130419TomasVazquezRubio.pdf?sequence=1)

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 GLOSARIO.
ANEXO 2 FICHA DE TRABAJO
ANEXO 3 VENTILADOR CENTRÍFUGO
ANEXO 4 MICROCONTROLADOR
ANEXO 5 SENSOR MQ-7
ANEXO 6 SENSOR MQ-135
ANEXO 7 SENSOR DHT11
ANEXO 8 PROGRAMACION

ANEXO 1 GLOSARIO.

ECA: Su significado es estándares en calidad ambiental, son indicadores de calidad en el medio ambiente, encargados de medir el grado de concentración de distintos elementos que existe en el medio ambiente y que aún no forman parte o representan un grado de nocividad alto para la vida y el ambiente.

Fuentes contaminantes: Las fuentes contaminantes que se originan por actividad del hombre en su gran mayoría son fijas y están emitidas en grandes cantidades al medio ambiente, la gran mayoría de estas actividades contaminantes tienen un origen industrial o por lo contrario también son ocasionado por fuentes que se encuentran en constante movimiento como es caso de los vehículos móviles de diferente clasificación ya sea aérea, terrestre o acuática.

LMP: *Significa límites máximos permisibles se encargan de medir el nivel de concentración de sustancias contaminantes los cuales pueden ser de origen biótico o abiótico, estas grandes cantidades de material en partículas es arrojado al ambiente en donde su mayoría es de origen antropogénico, que al exceder los límites causan un efecto negativo a la salud en el medio ambiente y todos sus habitantes.*

Medio ambiente: El medio ambiente es el lugar en donde viven un conjunto de habitantes de diferentes especies biológicas y no biológicas que se encuentran interrelacionadas entre sí es decir todas son dependientes de otras en particular los seres vivos que dependen de variables abióticas como es el caso del agua, el aire y el suelo debido a que sin ninguno de estos elementos se podría decir que no existiría vida.

Microcontrolador: Es un circuito electrónico integrado lógico programable compuesto de una unidad central de procesamiento, memorias ROM Y RAM, cuenta también por puerto que pueden ser configurados como entradas y salidas para diversas funciones y todas ellas están conectadas entre sí, lo cual lo convierte en una microcomputadora.

Nariz electrónica: Es un sistema electrónico sensorial con la capacidad de capturar, los diferentes compuestos orgánicos volátiles y elementos que forman parte de una muestra, pudiendo de esa forma reconocerla o diferenciarla dentro de un conjunto de sustancias olorosas.

Sensores de gas: Son dispositivos electrónicos químico-resistivos con capacidad de modificar el valor de su resistencia interna al estar en contacto con diferentes gases. El componente esencial de fabricación es óxido de estaño y para favorecer su grado de efectividad contiene otros compuestos óxidos como el de paladio y bismuto.

ANEXO 2 FICHA DE TRABAJO

FICHA DE TAREA INVESTIGACIÓN - FISE

CARRERA: Ingeniería Mecatrónica, Electrónica, Biomédica

1. Título del trabajo de la tarea de investigación propuesta

Título: Diseño y desarrollo de una nariz electrónica a bajo costo para la identificación de fuentes contaminantes en zonas de alto riesgo.

2. Indique la o las competencias del modelo del egresado que serán desarrolladas fundamentalmente con esta Tarea de investigación:

- Trabajo en Equipo
- Visión Interdisciplinaria
- Pensamiento creativo y crítico
- Innovación social
- Ser profesional integral y emprendedor
- Visión integradora

3. Indique el número de alumnos posibles a participar en este trabajo. (máximo 2) Número de Alumnos: 2

Indique si el trabajo tiene perspectivas de continuidad después que el alumno obtenga el Grado Académico para la titulación por la modalidad de tesis o no.

El trabajo tiene perspectivas de continuidad para la titulación por la modalidad de tesis.

4. Enuncie 4 o 5 palabras claves que le permitan al alumno realizar la búsqueda de información para el Trabajo en Revistas Indizadas en WOS, SCOPUS, EBSCO, SciELO, etc desde el comienzo del curso y obtener información de otras fuentes especializadas. Ejemplo:

Palabras Claves	SCHOLAR	DOAJ	SciELO
1.- Sistemas embebidos	Exitoso	Exitoso	Exitoso
2.- Sensores	Exitoso	Exitoso	Exitoso
3.- Localización	Exitoso	Exitoso	Exitoso
4.- Fuentes contaminantes	Exitoso	Exitoso	Exitoso
5.- Nariz Electrónica	Exitoso	Exitoso	Exitoso

5. Como futuro asesor de investigación para titulación colocar:

(Indique sus datos personales)

- a. Nombre: Deyby Maycol Huamanchahua Canchanya
- b. Código Docente _____
- c. Correo: deymihuca@hotmail.com Teléfono: 992339449

6. Especifique si el Trabajo de investigación:

(Marcar con un círculo la que corresponde, puede ser más de una)

- a. Contribuye a un trabajo de investigación de una Maestría o un doctorado de algún profesor de la UTP,
- b. si está dirigido a resolver algún problema o necesidad propia de la organización,
- c. si forma parte de un contrato de servicio a terceros,
- d. corresponde a otro tipo de necesidad o causa (Explicar cuál)

El trabajo está dirigido a resolver una necesidad específica y común que presentan las localidades o lugares con muchas contaminaciones. Muchas personas no saben que partículas contaminantes tiene el aire incluso en lugares donde la contaminación es mayor siguen viviendo alrededor. Se quiere desarrollar una nariz electrónica que identifique la fuente de contaminación y poder solucionar el problema. Este dispositivo puede ser beneficioso porque permite a las personas poder tener una mejor calidad de vida y sobre todo no contaminarse por dentro por partículas que ni saben que hay.

7. Explique de forma clara y comprensible al alumno los objetivos o propósitos del trabajo de investigación.

- Revisión bibliográfica de las narices electrónicas que hay hasta la actualidad
- Estado de arte de los dispositivos de narices electrónicas
- Diseño y Desarrollo de un prototipo
- Desarrollo de un sistema embebido para la detección de la fuente de contaminación
- Pruebas de funcionamiento del prototipo

8. Brinde al alumno una primera estructuración de las acciones específicas que debe realizar para que le permita al alumno iniciar organizadamente su trabajo.

- Búsqueda de información sobre los antecedentes, situación actual y la problemática referida al trabajo planteado.
- Búsqueda de información de investigaciones validadas con el fin de justificar el trabajo que se está planteando.
- Búsqueda de información sobre conocimientos específicos o fundamento teórico sobre el tema planteado.
- Búsqueda de información sobre metodologías válidas existentes y/o mecanismos que se utilizan para el desarrollo del trabajo planteado.
- Búsqueda de información sobre los recursos (personal, materiales, instrumentos y equipos) que se requerirán para el trabajo que se está planteando.
- Planteamiento de los objetivos específicos según el propósito del trabajo planteado y el análisis de la información encontrada.
- Planteamiento en un diagrama de bloques sobre el trabajo propuesto según metodologías válidas existentes.

- Planteamiento de los resultados esperados pudiendo ser: aportes a la solución del problema planteado o prototipo como un nuevo producto.
- Planteamiento sobre los impactos y limitaciones sobre el trabajo propuesto.
- Implementar un prototipo y un sistema embebido para el control de la identificación de la fuente de contaminación.

9. Incorpore todas las observaciones y recomendaciones que considere de utilidad al alumno y a los profesores del curso para poder desarrollar con éxito todas las actividades.

- La búsqueda de la información debe realizarse tanto a nivel nacional como internacional.
- Identificar información específica sobre el estado de arte sobre exoesqueletos superiores.
- Preparar un adecuado diagrama de Gantt de la realización del proyecto para cumplir a tiempo todas las actividades.

10. Fecha y docente que propone la tarea de investigación

Fecha de elaboración de ficha: 04 /08 / 2018

Docente que propone la tarea de investigación: Deyby Maycol Huamanchahua Canchanya, PhD

11. Esta Ficha de Tarea de Investigación ha sido aprobada como Tarea de Investigación para el Grado de Bachiller en esta carrera por:

(Sólo para ser llenada por la Dirección Académica)

Nombre: _____

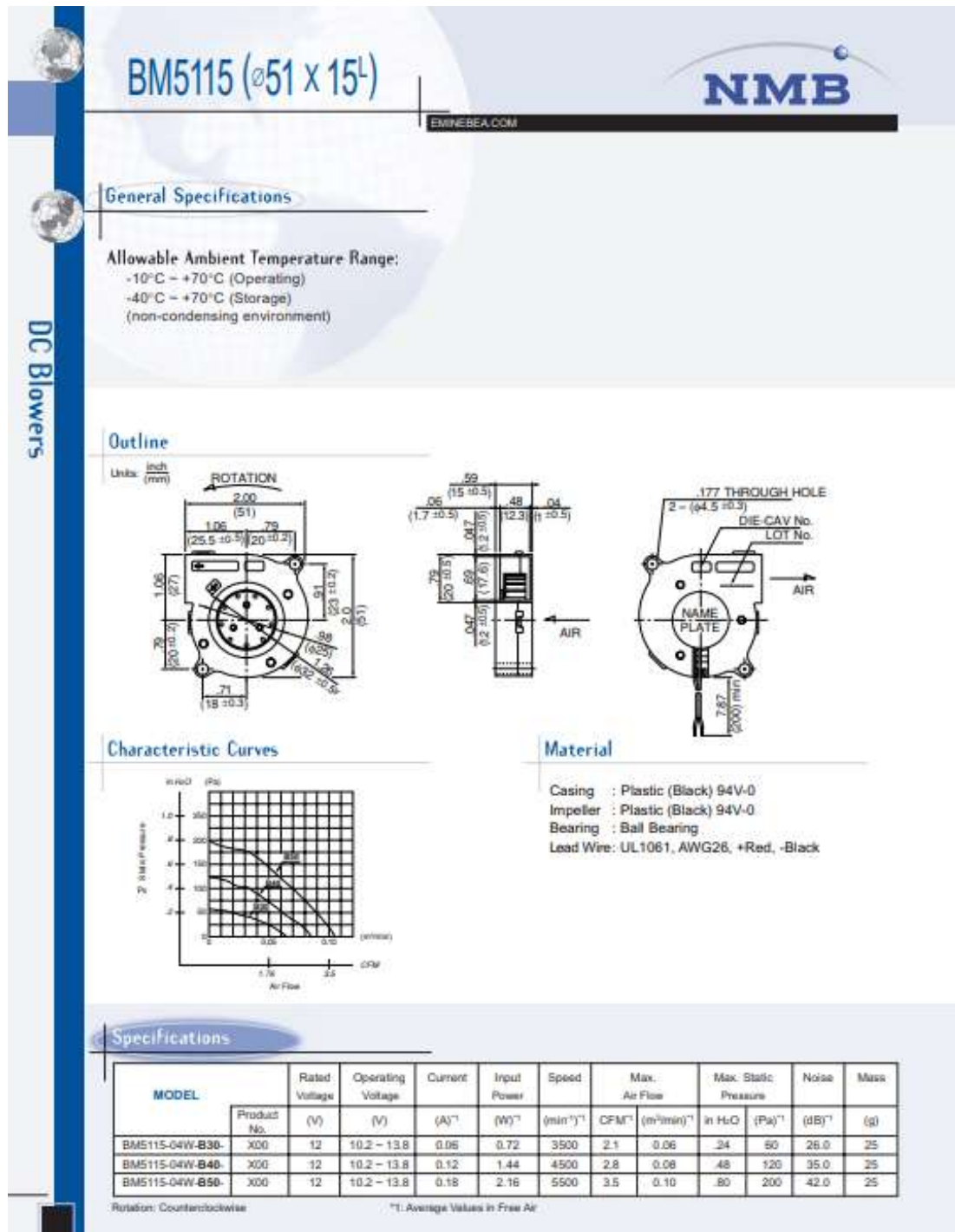
Código: _____

Cargo: _____

Fecha de aprobación de ficha ____/____/____

Vo.Bo. FISE

ANEXO 3 VENTILADOR CENTRÍFUGO





PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2



PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F874A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin
PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during Sleep via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™
(Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital
Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference
(VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device
inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash
program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM
memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM
technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I²C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

TECHNICAL DATA**MQ-7 GAS SENSOR****FEATURES**

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	$5V \pm 0.1$	Ac or Dc
V _H (H)	Heating voltage (high)	$5V \pm 0.1$	Ac or Dc
V _H (L)	Heating voltage (low)	$1.4V \pm 0.1$	Ac or Dc
R _L	Load resistance	Can adjust	
R _H	Heating resistance	$33 \Omega \pm 5\%$	Room temperature
T _H (H)	Heating time (high)	60 ± 1 seconds	
T _H (L)	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
T _{ao}	Using temperature	-20℃-50℃	
T _{as}	Storage temperature	-20℃-50℃	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
R _s	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
α (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	R _s (300ppm)/R _s (100ppm)
Standard working condition	Temperature -20℃ \pm 2℃ relative humidity 65% \pm 5% Vc:5V \pm 0.1V V _H :5V \pm 0.1V V _H :1.4V \pm 0.1V		RL:10K Ω \pm 5%
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

TECHNICAL DATA**MQ-7 GAS SENSOR****FEATURES**

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS**A. Standard work condition**

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	$5V \pm 0.1$	Ac or Dc
VH (H)	Heating voltage (high)	$5V \pm 0.1$	Ac or Dc
VH (L)	Heating voltage (low)	$1.4V \pm 0.1$	Ac or Dc
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	$33 \Omega \pm 5\%$	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	60 ± 1 seconds	
TH (L)	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	$-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$	
Tas	Storage temperature	$-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
α (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	$R_s(300\text{ppm})/R_s(100\text{ppm})$
Standard working condition	Temperature $-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ relative humidity $65\% \pm 5\%$ Vc: $5V \pm 0.1V$ VH: $5V \pm 0.1V$ VL: $1.4V \pm 0.1V$		
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

TECHNICAL DATA**MQ-7 GAS SENSOR****FEATURES**

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS**A. Standard work condition**

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	$5V \pm 0.1$	Ac or Dc
VH (H)	Heating voltage (high)	$5V \pm 0.1$	Ac or Dc
VH (L)	Heating voltage (low)	$1.4V \pm 0.1$	Ac or Dc
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	$33 \Omega \pm 5\%$	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	60 ± 1 seconds	
TH (L)	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	$-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$	
Tas	Storage temperature	$-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
α (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	$R_s(300\text{ppm})/R_s(100\text{ppm})$
Standard working condition	Temperature $-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ relative humidity $65\% \pm 5\%$ Vc: $5V \pm 0.1V$ VH: $5V \pm 0.1V$ VL: $1.4V \pm 0.1V$		
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

TECHNICAL DATA**MQ-135 GAS SENSOR****FEATURES**

Wide detecting scope
Stable and long life

Fast response and High sensitivity
Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃, NO_x, alcohol, Benzene, smoke, CO₂, etc.

SPECIFICATIONS**A. Standard work condition**

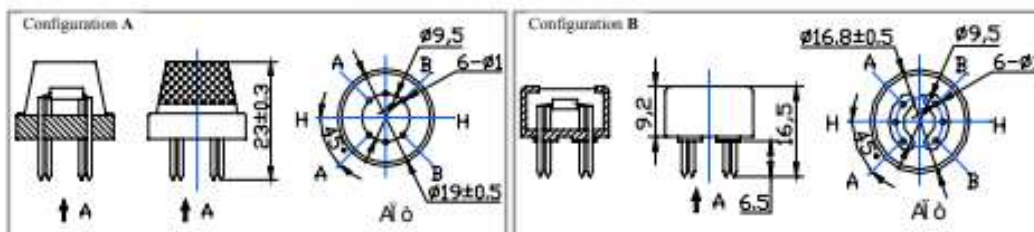
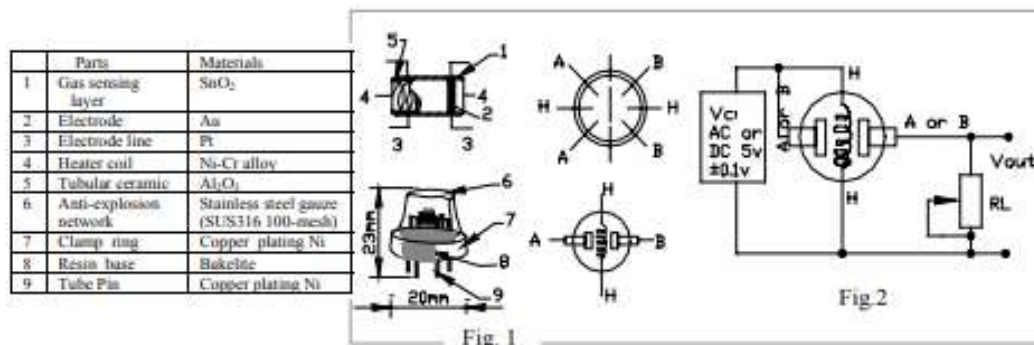
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10 ~-45	
T _{as}	Storage Tem	-20 ~-70	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	30KΩ-200KΩ (100ppm NH ₃)	Detecting concentration scope 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH ₃	Concentration Slope rate	≤0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20 ±2 Vc: 5V±0.1 Humidity: 65%±5% Vh: 5V±0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive

components. The enveloped MQ-135 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-135

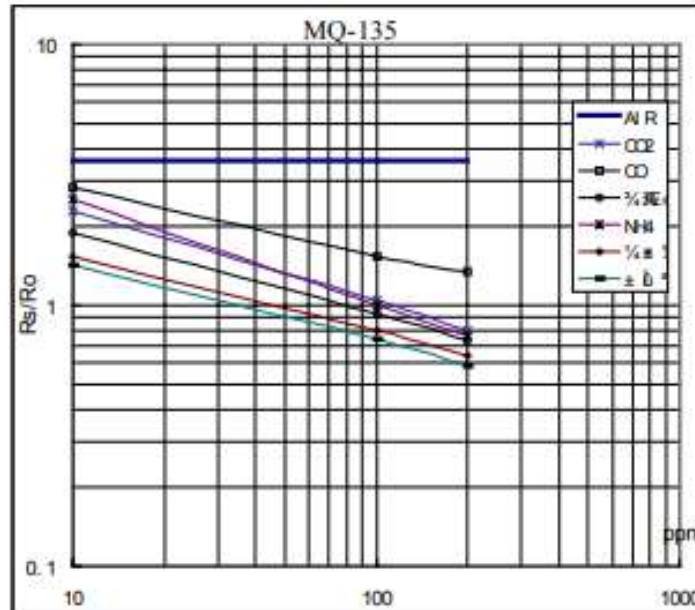


Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases.

in their: Temp: 20
Humidity: 65%
O₂ concentration 21%
RL=20kΩ
Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in the clean air.
Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

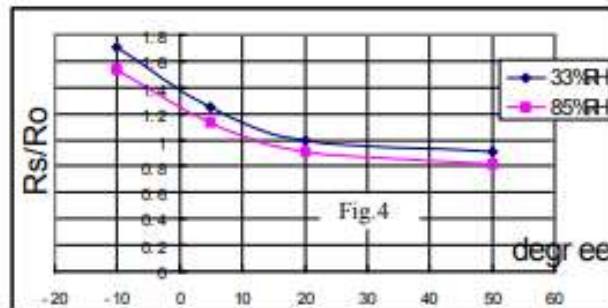


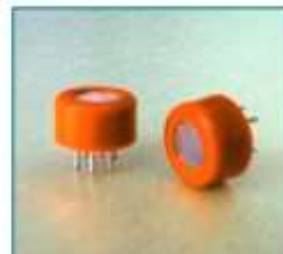
Fig.4 shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity.

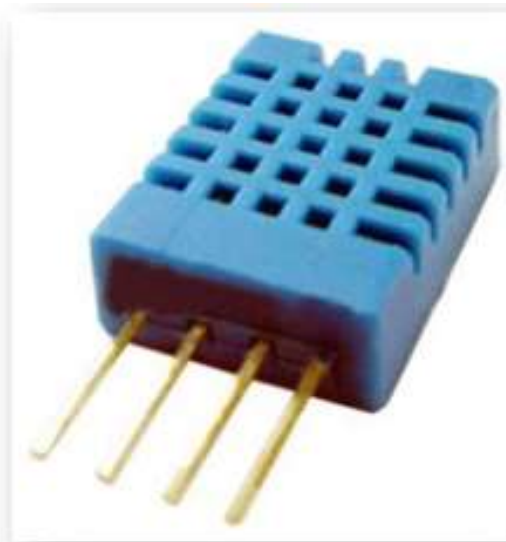
Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in air at 33%RH and 20 degree.
Rs: sensor resistance at 100ppm of NH₃ at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-135 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH₃ or 50ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance that (R_L) about 20 KΩ (10KΩ to 47 KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.





Each DHT11 element is strictly calibrated in the laboratory that is extremely accurate on humidity calibration. The calibration coefficients are stored as programmes in the OTP memory, which are used by the sensor's internal signal detecting process. The single-wire serial interface makes system integration quick and easy. Its small size, low power consumption and up-to-20 meter signal transmission making it the best choice for various applications, including those most demanding ones. The component is 4-pin single row pin package. It is convenient to connect and special packages can be provided according to users' request.

2. Technical Specifications:

Overview:

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	± 5% RH	± 2 °C	1	4 Pin Single Row

Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			± 1%RH	
Accuracy	25°C		± 4%RH	
	0-50°C			± 5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C , 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			± 1%RH	
Long-Term Stability	Typical		± 1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			± 1°C	
Accuracy		± 1°C		± 2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

3. Typical Application (Figure 1)

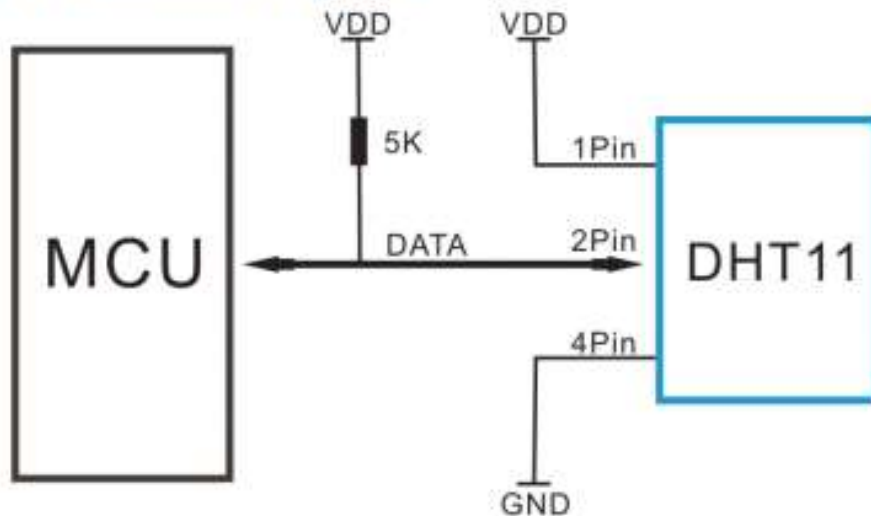


Figure 1 Typical Application

Note: 3Pin – Null; MCU = Micro-computer Unite or single chip Computer

When the connecting cable is shorter than 20 metres, a 5K pull-up resistor is recommended; when the connecting cable is longer than 20 metres, choose a appropriate pull-up resistor as needed.

4. Power and Pin

DHT11's power supply is 3-5.5V DC. When power is supplied to the sensor, do not send any instruction to the sensor in within one second in order to pass the unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for power filtering.

5. Communication Process: Serial Interface (Single-Wire Two-Way)

Single-bus data format is used for communication and synchronization between MCU and DHT11 sensor. One communication process is about 4ms.

Data consists of decimal and integral parts. A complete data transmission is **40bit**, and the sensor sends **higher data bit** first.

Data format: 8bit integral RH data + 8bit decimal RH data + 8bit integral T data + 8bit decimal T data + 8bit check sum. If the data transmission is right, the check-sum should be the last 8bit of "8bit integral RH data + 8bit decimal RH data + 8bit integral T data + 8bit decimal T data".

5.1 Overall Communication Process (Figure 2, below)

When MCU sends a start signal, DHT11 changes from the low-power-consumption mode to the running-mode, waiting for MCU completing the start signal. Once it is completed, DHT11 sends a response signal of 40-bit data that include the relative humidity and temperature information to MCU. Users can choose to collect (read) some data. Without the start signal from MCU, DHT11 will not give the response signal to MCU. Once data is collected, DHT11 will change to the low-power-consumption mode until it receives a start signal from MCU again.

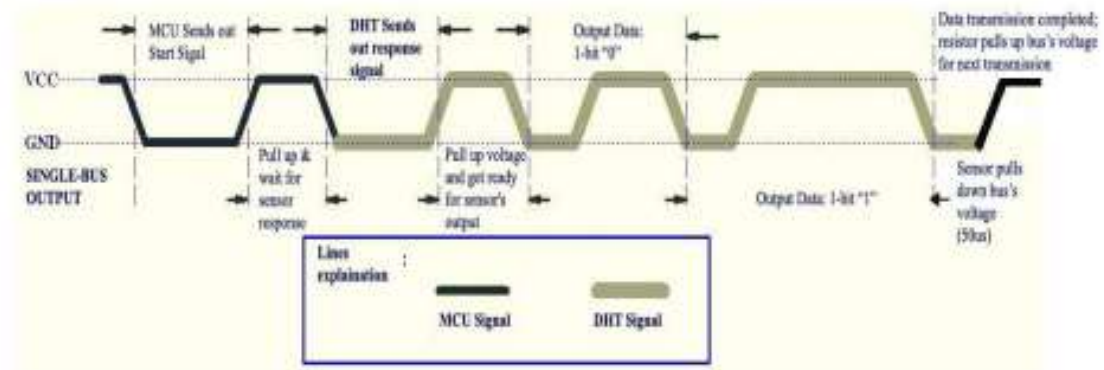


Figure 2 Overall Communication Process

5.2 MCU Sends out Start Signal to DHT (Figure 3, below)

Data Single-bus free status is at high voltage level. When the communication between MCU and DHT11 begins, the programme of MCU will set Data Single-bus voltage level from high to low and this process must take at least 18ms to ensure DHT's detection of MCU's signal, then MCU will pull up voltage and wait 20-40us for DHT's response.

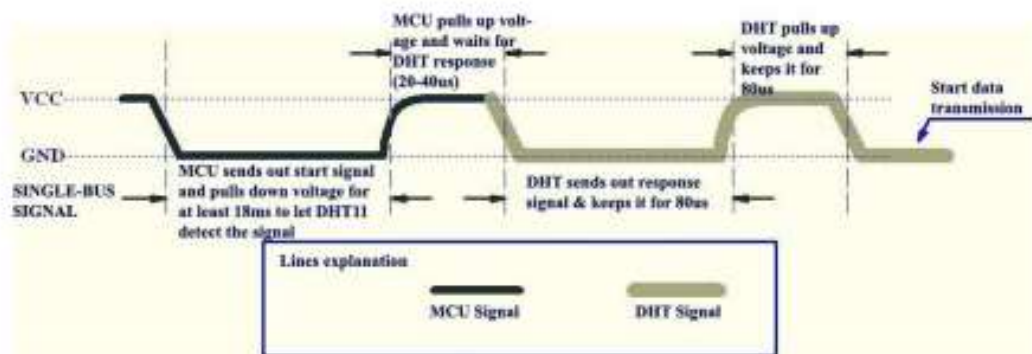


Figure 3 MCU Sends out Start Signal & DHT Responses

ANEXO 8 PROGRAMACION

```

1:
2: #include <16F877a.h>
3: #fuses NOMCLR INTRC_IO
4: #use delay(clock = 8000000)
5:
6: #use fast_io(C)
7: // pines de coneccion para el DHT11
8: #BIT Data_Pin = 0xF82.0 // Pin mapeado para el puer
9: #BIT Data_Pin_Direction = 0xF94.0 // Pin del direccion mapead
10:
11: float voltco=0;
12: float voltco2=0;
13: int16 valor_adc0=0;//mq7
14: int16 valor_adc1=0;//mq135
15: char humedad;
16: char temperatura;
17: short Time_out;
18: unsigned int8 T_byte1, T_byte2, RH_byte1, RH_byte2, CheckSum ;
19: void start_signal(){
20:     Data_Pin_Direction = 0; // con figuracion de pines como salida
21:     Data_Pin = 0;
22:     delay_ms(25);
23:     Data_Pin = 1;
24:     delay_us(30);
25:     Data_Pin_Direction = 1; // configuracion de pines como entrada
26: }
27: short check_response(){
28:     delay_us(40);
29:     if(!Data_Pin){ // lectura y prueba de la conexcion del pin
30:         delay_us(80);
31:         if(Data_Pin){ // lectura y prueba de la conexcion del pin
32:             return 1;
33:         }
34:     }
35:     unsigned int8 Read_Data(){
36:         unsigned int8 i, k, _data = 0; // ka es usado para contar un bit du
37:         break;
38:         for(i = 0; i < 8; i++){
39:             k = 0;
40:             while(!Data_Pin){
41:                 k++;
42:                 if (k > 100) {Time_out = 1; break;}
43:                 delay_us(1);
44:             }
45:             delay_us(30);
46:             if(!Data_Pin)
47:                 bit_clear(_data, (7 - i));
48:             else{
49:                 bit_set(_data, (7 - i));
50:                 while(Data_Pin){
51:                     k++;
52:                     if (k > 100) {Time_out = 1; break;}
53:                     delay_us(1);
54:                 }
55:             }
56:             return _data;
57:         }
58:     }
59:     void main(){
60:         setup_oscillator(OSC_8MHZ); // Set internal oscillator to 8MHz
61:         //setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
62:         SETUP_ADC(ADC_CLOCK_INTERNAL);
63:         SETUP_ADC_PORTS(AN0_TO_AN2_ANALOG|VSS_VDD); // Configure AN pins as digi
64:         while(TRUE){

```

```

64:         SET_ADC_CHANNEL(0);
65:         delay_us(10);
66:         valor_adc0=read_adc();
67:         voltco = ((valor_adc0 /1024.0)*5.0);
68:         delay_us(10);
69:
70:         SET_ADC_CHANNEL(1);
71:         delay_us(10);
72:         valor_adc1=read_adc();
73:         voltco2 = ((valor_adc1 /1024.0)*5.0);
74:         delay_us(10);
75:
76:     delay_ms(1000);
77:     Time_out = 0;
78:     Start_signal();
79:     if(check_response()){ // If there is response from
80:         RH_byte1 = Read_Data(); // read RH byte1
81:         RH_byte2 = Read_Data(); // read RH byte2
82:         T_byte1 = Read_Data(); // read T byte1
83:         T_byte2 = Read_Data(); // read T byte2
84:         Checksum = Read_Data(); // read checksum
85:         if(CheckSum == ((RH_Byte1 + RH_Byte2 + T_Byte1 + T_Byte2) & 0xFF)){
86:             temperatura = T_Byte1;
87:             humedad = RH_Byte1;
88:
89:             //if(temperatura >= 25){
90:             if (((temperatura>18)&&(humedad>60))&&((temperatura<=22)&&(humedad
91:             //printf("estable \r\n");
92:             //output_d(0b00001010);
93:             if (((voltco>2.7)&&(voltco<=3.5))||((voltco2>2.6)&&(voltco2<=3
94:             {
95:                 output_d(0b11001011); //alarma on
96:                 //output_b(0b00000011); //puerto led rgb encendido para combi
97:                 delay_ms(500);
98:             }
99:             else if ((voltco>3.5)|| (voltco2>3.0)) // son valores arbitrari
100:             { //ventilador encendido y pulso a pwm( PROVISIONAL) el bit
101:                 output_d(0b01001011); //alarma on
102:                 //output_b(0b00000001); //puerto led rgb rojo encendido bit
103:                 delay_ms(500);
104:             } // instrucciones solo cuando no hay humo ( el sensor mq7 n
105:             else if ((voltco<=2.7)&&(voltco2<=2.6)) // son valores arbitra
106:             { //ventilador encendido y pulso a pwm el bit mas significat
107:                 output_d(0b10001010); //alarma off
108:                 //output_b(0b00000010); //bit de peso 2 en =1 para color verd
109:                 delay_ms(500);
110:             }
111:         }
112:     }
113:     //printf("falta calibrar\r\n");
114:     output_d(0b00010100);
115:
116: }
117: else
118:     output_d(0b10100000);
119: }
120:
121: }

```